



**Уральский
федеральный
университет**

имени первого Президента
России Б. Н. Ельцина

**Институт Строительства
и Архитектуры**

**З. В. БЕЛЯЕВА
С. В. КУДРЯВЦЕВ**

РАСЧЕТ И ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЭЛЕМЕНТОВ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ КОНСТРУКЦИЙ

Учебно-методическое пособие



Министерство науки и высшего образования
Российской Федерации
Уральский федеральный университет
имени первого Президента России Б. Н. Ельцина

З. В. Беляева, С. В. Кудрявцев

РАСЧЕТ И ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЭЛЕМЕНТОВ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ КОНСТРУКЦИЙ

Учебно-методическое пособие

Рекомендовано методическим советом
Уральского федерального университета
для студентов вуза, обучающихся
по направлениям подготовки:
08.01.03 — Строительство;
07.01.03 — Архитектура

Екатеринбург
Издательство Уральского университета
2019

УДК 539.3:624.014(075.8)

ББК 30.4-02я73

Б44

Рецензенты:

кафедра «Строительные конструкции и строительное производство»
Уральского государственного университета путей сообщения
(заведующий кафедрой, кандидат архитектуры, доцент *О. С. Горнева*);
кандидат технических наук *С. П. Тамакулов* (директор ООО Фирма «Урал-
комплект-наука»)

Научный редактор — кандидат технических наук, доцент *В. Г. Крохалев*

Беляева, З. В.

Б44 Расчет и проектирование элементов металлических конструкций :
учебно-методическое пособие / З. В. Беляева, С. В. Кудрявцев ; Мин-во
науки и высшего образования РФ ; Урал. федерал. ун-т им. первого Прези-
дента России Б. Н. Ельцина. — Екатеринбург : Изд-во Урал. ун-та, 2019. —
136 с.

ISBN 978-5-7996-2778-2

Приведены основные положения по сбору нагрузок на элементы конструк-
ций, по расчету изгибаемых, сжатых и сжато-изгибаемых элементов стальных
конструкций. Указаны требования к их конструированию. Даны примеры расче-
та и конструирования.

Издание предназначено для студентов бакалавриата, обучающихся по на-
правлениям «Строительство» и «Архитектура».

Табл. 18. Рис. 31. Прил. 3.

УДК 539.3:624.014(075.8)

ББК 30.4-02я73

ISBN 978-5-7996-2778-2

© Уральский федеральный
университет, 2019

Оглавление

Предисловие	5
1. Основы расчета металлических конструкций	6
1.1. Метод предельных состояний	6
1.2. Характеристики прочности	8
1.3. Условия работы конструкций	9
2. Сбор нагрузок.....	11
2.1. Постоянные нагрузки.....	11
2.2. Временные нагрузки.....	12
Примеры сбора нагрузок	13
Задания для самостоятельной работы	17
3. Расчет балок	21
Примеры расчета балок	25
Задания для самостоятельной работы	38
4. Расчет центрально-сжатых колонн.....	40
Примеры расчета центрально-сжатых колонн	44
Задания для самостоятельной работы	51
5. Расчет ферм покрытия	53
Примеры расчета ферм покрытия	58
Задания для самостоятельной работы	68
6. Расчет сжато-изгибаемых элементов.....	70
6.1. Сплошные сечения	71
6.2. Сквозные сечения.....	72
Примеры расчета сжато-изгибаемых колонн	75
Задания для самостоятельной работы	86
7. Расчет стальных канатов	88
7.1. Характеристики канатов	88
7.2. Выбор каната	89

7.3. Крепление канатов.....	90
7.4. Расчет канатов.....	90
Примеры расчета канатов	92
Задания для самостоятельной работы.....	94
Список библиографических ссылок.....	96
Приложение 1	98
Приложение 2	102
Приложение 3	104

ПРЕДИСЛОВИЕ

Учебное пособие подготовлено кафедрой «Строительные конструкции и механика грунтов» Института строительства и архитектуры. Пособие предназначено для студентов всех форм обучения, обучающихся по направлению подготовки бакалавриата 08.01.03 — Строительство, 07.01.03 — Архитектура, выполняющих практические занятия и курсовое проектирование по дисциплинам «Металлические конструкции», «Строительные конструкции зданий и сооружений», «Конструкции городских сооружений», «Проектирование легких металлических конструкций» и «Архитектурное проектирование конструкций высотных и большепролетных зданий».

Учебное пособие соответствует требованиям Федеральных государственных образовательных стандартов высшего образования по направлениям «Строительство» и «Строительство уникальных зданий и сооружений» и требованиям рабочих программ дисциплин.

В пособии приведены основные положения по расчету изгибаемых, сжатых и сжато-изгибаемых элементов стальных конструкций. Указаны требования к конструированию. Даны примеры расчета. Представленные методики расчета предназначены для практического инженерного проектирования элементов стальных конструкций.

Материал пособия имеет практико-ориентированный характер. Приобретенные студентами знания и навыки могут быть использованы при выполнении курсовых и дипломных проектов, а также в практической деятельности инженеров-проектировщиков.

1. ОСНОВЫ РАСЧЕТА МЕТАЛЛИЧЕСКИХ КОНСТРУКЦИЙ

Целью расчета металлических конструкций является строгое обоснование их габаритных размеров, размеров поперечных сечений и их соединений, обеспечивающих необходимую надежность, долговечность и экономичность. Эти требования часто противоречат друг другу, поэтому проектирование является процессом поиска оптимального решения.

Расчет конструкций состоит из следующих этапов:

- составление расчетной схемы;
- сбор нагрузок;
- определение усилий в элементах конструкций;
- подбор поперечных сечений;
- проверки подобранных сечений.

Первые три этапа в общем называются статическим расчетом конструкций, а последние два — конструктивным расчетом конструкций.

В настоящее время конструктивный расчет строительных конструкций, в том числе металлических, ведется по методу предельных состояний — достаточно простому и научно обоснованному.

1.1. Метод предельных состояний

Предельное состояние (ПС) — состояние, когда конструкция перестает удовлетворять требованиям, предъявляемым к ней в процессе эксплуатации или монтажа. Предельные состояния условно подразделяются на две группы.

I группа предельных состояний

В первую группу предельных состояний входят предельные состояния, при наступлении которых конструкция становится полностью непригодна к дальнейшей эксплуатации. К ним относятся разрушения любого вида, потеря общей устойчивости конструкции или потеря местной устойчивости отдельного элемента конструкции, нарушения узлов и соединений, превращающие конструкцию в геометрически изменяемую систему.

Расчет по предельным состояниям I группы (расчет по несущей способности) обязателен для всех несущих конструкций, элементов и их соединений.

Расчет по несущей способности производится на воздействие наибольших нагрузок, возможных в процессе эксплуатации (расчетных нагрузок). При этом максимально возможное усилие в элементе или в конструкции не должно превышать минимальной несущей способности элемента или конструкции:

$$N \leq \Phi,$$

где N — максимальное усилие, зависящее от нагрузок и расчетной схемы; Φ — минимальная несущая способность, зависящая от материала и геометрических параметров сечения.

II группа предельных состояний

Во вторую группу ПС входят предельные состояния, при которых конструкция становится непригодна к нормальной эксплуатации по деформациям и перемещениям, то есть по непригодности. К ним относятся превышающие нормы прогибы, перемещения и повороты узлов, осадки опор, колебания.

Расчет по предельным состояниям II группы (расчет по деформациям) производится в основном для изгибаемых элементов (определяется прогиб).

Расчет по деформациям производится на действие нормативных нагрузок. При этом фактическая деформация не должна превышать нормируемой величины деформации:

$$f \leq f_u,$$

где f — фактическая деформация, определяемая по формулам строительной механики; f_u — нормируемая величина деформации, задаваемая в СП 20.13330—2016 «Нагрузки и воздействия» [1, разд. 15].

1.2. Характеристики прочности

Основная прочностная характеристика стали — это нормативное сопротивление. Для элементов, работающих на сжатие, растяжение и изгиб, нормы рассматривают две величины нормативного сопротивления:

- нормативное сопротивление по пределу текучести R_{yn} (определяется по пределу текучести образцов σ_y);
- временное сопротивление или нормативное сопротивление по пределу прочности R_{un} (определяется по временному сопротивлению образцов σ_u).

Данные величины получают путем статистической обработки данных лабораторных испытаний образцов материала. Чаще всего нормативное значение сопротивления назначают с обеспеченностью 0,95, то есть из 100 испытываемых образцов минимум 95 должны иметь сопротивление не меньше принятого.

Поскольку работа образцов под нагрузкой в лаборатории отличается от работы реальных конструкций по множеству причин, то расчет производится по расчетным сопротивлениям, которых также выделяют два:

- расчетное сопротивление по пределу текучести R_y ;
- расчетное сопротивление по пределу прочности R_u .

Расчетные сопротивления определяются путем деления нормативных сопротивлений на коэффициент надежности по материалу:

$$R_y = \frac{R_{yn}}{\gamma_m} \text{ и } R_u = \frac{R_{un}}{\gamma_m},$$

где γ_m — коэффициент надежности по материалу.

Для конструкций из стали, не имеющей площадки текучести, используется расчетное сопротивление по пределу прочности с учетом коэффициента надежности $\frac{R_u}{\gamma_u}$, где γ_u — коэффициент надежности, $\gamma_u = 1,3$.

Величины сопротивлений R_{yn} , $R_{ин}$, R_y , R_c в зависимости от класса стали и вида проката приведены в СП 16.13330.2017 «Стальные конструкции» [2, табл. В3, В4 и В5].

1.3. Условия работы конструкций

Условия работы конструкции учитываются с помощью коэффициента условий работы γ_c , который определяется по СП 16.13330.2017 [2, табл. 1].

Уровень ответственности здания учитывают с помощью коэффициента надежности по назначению γ_n . Все здания и сооружения в соответствии с Федеральным законом № 384-ФЗ «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений» подразделяются на три уровня ответственности [3, 4].

К зданиям и сооружениям повышенного уровня ответственности относятся здания и сооружения, отнесенные в соответствии с Градостроительным кодексом Российской Федерации к особо опасным, технически сложным или уникальным объектам (объекты использования атомной энергии, крупные гидротехнические сооружения, ответственные сооружения связи, линии электропередач напряжением $330 \geq \text{кВ}$, объекты космической инфраструктуры, объекты инфраструктуры воздушного и железнодорожного транспорта, метрополитены, подвесные канатные дороги, производственные объекты, связанные с получением и переработкой опасных веществ, расплавов металлов, добычей и переработкой полезных ископаемых, все сооружения высотой более 100 м, имеющие пролеты более 100 м, консоли вылетом более 20 м, подземную часть, заглубленную ниже планировочной отметки более чем на 15 м). Для таких объектов минимальное значение коэффициента надежности по назначению $\gamma_n = 1,1$.

К зданиям и сооружениям пониженного уровня ответственности относятся здания и сооружения временного (сезонного) назначения, а также здания и сооружения вспомогательного использования, связанные с осуществлением строительства или реконструкции здания, или сооружения, расположенные на земельных участках, предоставленных для индивидуального жилищного строительства. Минимальное значение коэффициента надежности по назначению для них $\gamma_n = 0,8$.

К зданиям и сооружениям нормального уровня ответственности относятся все здания и сооружения, за исключением зданий и сооружений повышенного и пониженного уровней ответственности. К этой категории относятся объекты массового строительства жилого, общественного и производственного назначения. Для них минимальное значение коэффициента надежности по назначению $\gamma_n = 1,0$.

2. СБОР НАГРУЗОК

На перекрытия и покрытия зданий, как правило, действуют два типа нагрузок — постоянные и временные. Обычно эти нагрузки задаются равномерно распределенными по всей площади перекрытия или покрытия.

2.1. Постоянные нагрузки

Постоянные нагрузки — это преимущественно собственный вес несущих и ограждающих конструкций здания. Значение постоянных нагрузок определяется через геометрические размеры и плотность (удельный вес) материала конструкций. Например, нормативное значение собственного веса g_i^n сплошного слоя кровельного пирога определяется по формуле

$$g_i^n = \delta_i \gamma_i,$$

где δ_i — толщина слоя; γ_i — объемный вес материала.

Расчетное значение собственного веса g_i сплошного слоя кровельного пирога определяется по формуле

$$g_i = g_i^n \gamma_f,$$

где γ_f — коэффициент надежности по нагрузке, принимаемый для постоянных нагрузок по СП 20.13330.2016 [1, табл. 7.1].

Толщина слоев в кровле и перекрытиях обычно задается в архитектурных решениях проекта, а плотность (удельный вес) материала принимается по справочным данным или по данным завода-изготовителя.

В начале проектирования, когда поперечные сечения несущих конструкций еще не известны, точно определить их собственный вес бывает затруднительно. Поэтому при сборе нагрузок обычно прини-

мают собственный вес несущих конструкций приблизительно с последующим уточнением после конструктивного расчета. Если уточненный вес конструкций несущественно отличается от принятого, то перерасчет не производится. Собственный вес таких конструкций, как железобетонные плиты, балки, фермы, прогоны, связи и так далее, можно принять равномерно распределенными по площади покрытия или перекрытия. Приблизительные значения таких постоянных нагрузок приводятся в справочной и учебной литературе, например в [5, прил. 4], [6, табл. 11.3] и в прил. 1.

2.2. Временные нагрузки

На перекрытия зданий и сооружений действуют разнообразные временные нагрузки от оборудования, складироваемых материалов и т. п. Эти нагрузки часто называют полезными нагрузками, так как именно для их восприятия проектируется здание или сооружение. Временные нагрузки могут быть сосредоточенными и равномерно распределенными. По длительности действия временные нагрузки подразделяются на длительные (вес перегородок, стационарного оборудования, складироваемых материалов и т. д.), кратковременные (вес людей, нагрузки от подъемно-транспортного оборудования, климатические нагрузки и т. д.) и особые (сейсмические и аварийные) [1, разд. 5].

Величины основных длительных и кратковременных распределенных нагрузок на перекрытия приведены в СП 20.13330.2016 [1, табл. 8.1 и 8.3], коэффициенты надежности по нагрузке для них тоже даны в [1, табл. 8.2 и п. 8.2.2]. Также в СП 20.13330.2016 задаются сосредоточенные нагрузки на различные элементы сооружений [1, разд. 8.3] и нагрузки от подъемно-транспортного оборудования [1, разд. 8.4 и 9].

При расчетах по второй группе предельных состояний к длительным нагрузкам относят также пониженные значения кратковременных нагрузок [1, п. 8.2.3].

На покрытия зданий большое значение также оказывают снеговые нагрузки, которые определяются в зависимости от снегового района Российской Федерации с учетом понижающих или повышающих коэффициентов. Понижающие коэффициенты учитывают снос снега ветром и таяние снега на кровле с высоким коэффициентом теплопе-

редачи. Повышающие коэффициенты учитывают возможность образования на кровле снеговых мешков в зонах перепада высот. Нормативные и расчетные значения снеговой нагрузки определяются по [1, табл. 10.1 и п. 10.1].

Примеры сбора нагрузок

Пример 2.1

Выполнить сбор нагрузок от собственного веса кровельных слоев. Состав кровли принять по варианту 1 в табл. 2.2.

Решение

Определим нормативное значение собственного веса верхнего слоя кровли — гидроизоляционного ковра на битумной мастике:

$$g_1^n = t_1 \gamma_1 = 5 \cdot 10^{-3} \cdot 600 = 3 \text{ кг/м}^2 = 0,03 \text{ кПа},$$

где t_1 — толщина слоя, заданная в табл. 2.2 ($t_1 = 5 \text{ мм}$); γ_1 — плотность материала, принятая по табл. П1.1 ($\gamma_1 = 600 \text{ кг/м}^3$).

Находим расчетное значение g_1 :

$$g_1 = g_1^n \gamma_f = 0,03 \cdot 1,3 = 0,039 \text{ кПа},$$

где γ_f — коэффициент надежности по нагрузке, принятый по [1, табл. 7.1] как для изоляционного материала, укладываемого на строительной площадке ($\gamma_f = 1,3$).

Собственный вес остальных слоев определяется аналогично.

Постоянная нормативная нагрузка g^n и постоянная расчетная нагрузка g от веса кровли определяются суммированием собственного веса квадратного метра слоев кровельного пирога:

$$g^n = g_1^n + g_2^n + \dots + g_k^n \text{ и } g = g_1 + g_2 + \dots + g_k.$$

Вычисление нагрузки от каждого слоя и нагрузки от кровельного пирога в целом удобнее выполнять в табличной форме. Все дальнейшие вычисления сведем в табл. 2.1, при этом будем пользоваться справочными данными, приведенными в прил. 1.

Таблица 2.1

Постоянная нагрузка на перекрытие

Наименование вида нагрузки	Нормативное значение g'' , кПа	γ_f	Расчетное значение g , кПа
Гидроизоляционный ковер на битумной мастике $t = 5$ мм, $\gamma = 600$ кг/м ³	0,030	1,3	0,039
Стальной кровельный лист $t = 0,8$ мм, $\gamma = 7850$ кг/м ³	0,063	1,05	0,066
Обрешетка из досок $t = 25$ мм, $\gamma = 500$ кг/м ³	0,125	1,3	0,163
Деревянная стропильная система	0,400	1,1	0,440
Рубероид $t = 3$ мм, $\gamma = 600$ кг/м ³	0,018	1,3	0,023
Пеноизол $t = 70$ мм, $\gamma = 70$ кг/м ³	0,049	1,3	0,064
Профилированный настил Н75	0,010	1,05	0,011
Всего	0,695	—	0,806

Примечание. Коэффициент надежности по нагрузке для деревянной стропильной системы принят как для деревянных конструкций, а для обрешетки из досок — как для изоляционного слоя, выполненного на строительной площадке.

Пример 2.2

Определить снеговую нагрузку на ферму покрытия промышленного здания, расположенного в г. Екатеринбурге. Размеры фермы заданы на рис. 2.1, шаг ферм 6 м.

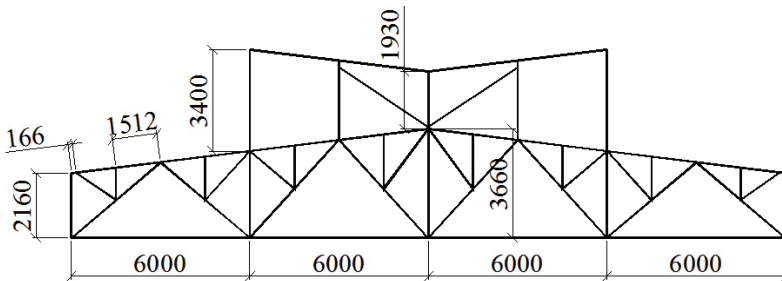


Рис. 2.1. Геометрическая схема фермы

Решение

Согласно СП 20.13330.2016 [1, карта 1] г. Екатеринбург расположен в III снеговом районе. Нормативное значение снеговой нагрузки:

$$S_0 = c_e c_t \mu S_g,$$

где c_e — коэффициент, учитывающий снос снега с покрытия здания под воздействием ветра, принимаем $c_e = 1$ [1, п. 10.9, б]; c_t — термический коэффициент, принимаем $c_t = 1$ [1, п. 10.10]; S_g — вес снегового покрова на 1 м^2 горизонтальной поверхности земли ($S_g = 1,5 \text{ кПа}$) [1, табл. 10.1].

Нормативное значение снеговой нагрузки без учета коэффициента перехода μ :

$$S_0 = 1 \cdot 1 \cdot 1,5 = 1,5 \text{ кПа.}$$

Расчетное значение снеговой нагрузки

$$S = S_0 \gamma_f = 1,5 \cdot 1,4 = 2,1 \text{ кПа,}$$

где γ_f — коэффициент надежности для снеговой нагрузки ($\gamma_f = 1,4$) [1, п. 10.12].

Поскольку есть фонарь, то согласно СП 20.13330.2016 [1, п. Б.3] принимаем 2 варианта загрузки фермы снеговой нагрузкой (рис. 2.2).

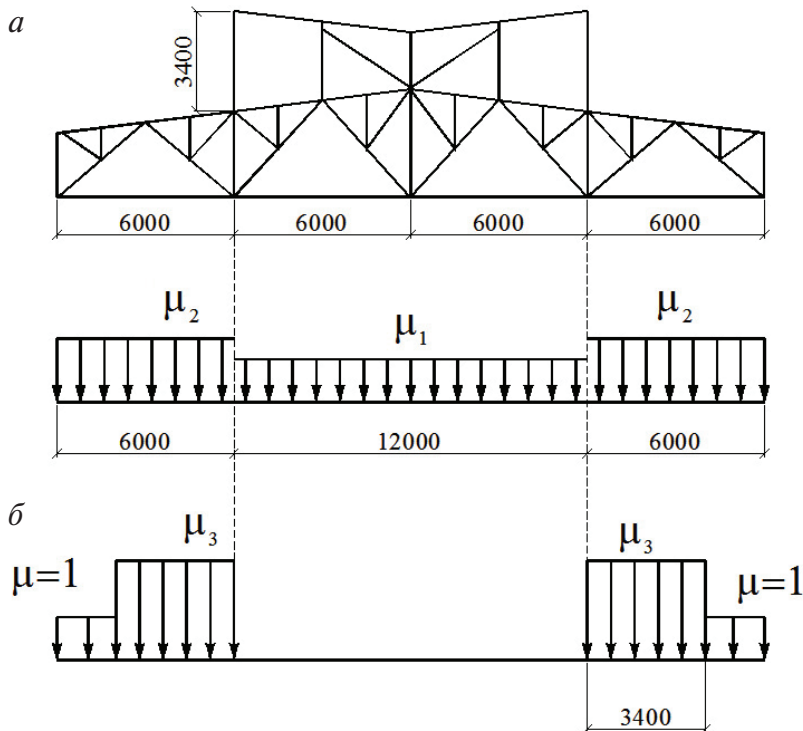


Рис. 2.2. Варианты снеговой нагрузки на ферму:

а — вариант 1; б — вариант 2

Коэффициенты μ принимаем по указаниям прил. 2 [1]:

$$\mu_1 = 0,8, \quad \mu_2 = 1 + 0,1 \cdot \frac{12}{6} = 1,2,$$

$$\mu_3 = 1 + 0,5 \cdot \frac{12}{3,4} = 2,76 > 2,5.$$

Следовательно, принимаем $\mu_2 = 2,5$.

Определим сосредоточенные силы, действующие в узлах фермы от действия снеговой нагрузки (рис. 2.3).

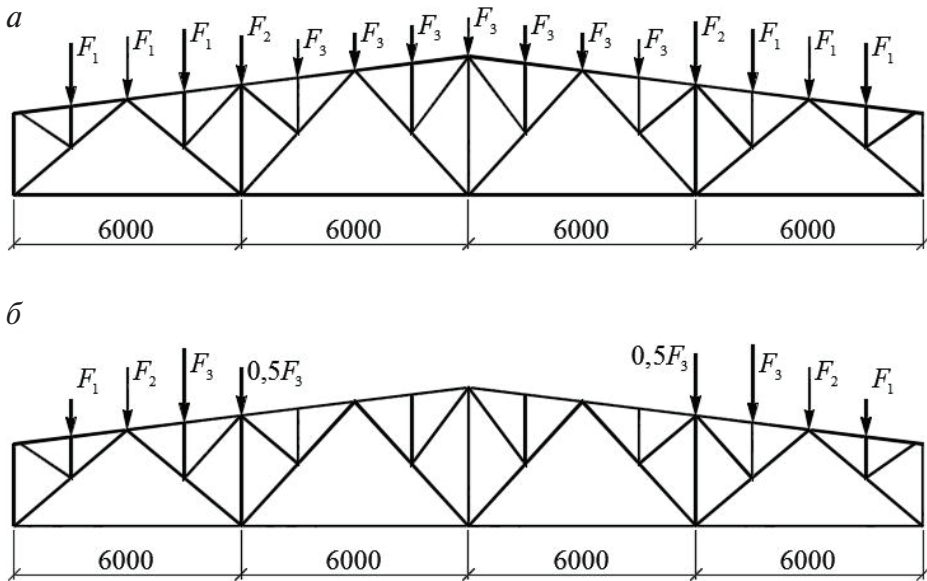


Рис. 2.3. Варианты узловой снеговой нагрузки на ферму:

a — вариант 1; *б* — вариант 2

Вариант 1

$$F_1 = \mu_2 S B d \gamma_n = 1,2 \cdot 2,1 \cdot 6 \cdot 1,512 \cdot 1 = 22,86 \text{ кН};$$

$$F_3 = \mu_1 S B d \gamma_n = 0,8 \cdot 2,1 \cdot 6 \cdot 1,512 \cdot 1 = 15,24 \text{ кН},$$

где B — шаг ферм ($B = 6$ м); d — длина панели верхнего пояса фермы ($d = 1,512$ м); γ_n — коэффициент надежности по назначению здания ($\gamma_n = 1$).

$$F_2 = \frac{F_1}{2} + \frac{F_3}{2} = \frac{19,2}{2} + \frac{12,8}{2} = 16,0 \text{ кН}.$$

Вариант 2

$$F_1 = SBd\gamma_n = 2,1 \cdot 6 \cdot 1,512 \cdot 1 = 19,05 \text{ кН};$$

$$F_2 = S(\mu_3 \cdot 1,156 + 1 \cdot 0,356) B\gamma_n =$$

$$= 2,1 \cdot (2,5 \cdot 1,156 + 1 \cdot 0,356) \cdot 6 \cdot 1 = 40,9 \text{ кН};$$

$$F_3 = \mu_3 SBd\gamma_n = 2,5 \cdot 2,1 \cdot 6 \cdot 1,512 \cdot 1 = 47,63 \text{ кН}.$$

Задания для самостоятельной работы

Задание 2.1

Выполнить сбор нагрузки на 1 м² покрытия. Состав кровельных слоев принять по табл. 2.2.

Задание 2.2

Выполнить сбор нагрузок на 1 м² перекрытия. Состав слоев перекрытия принять по табл. 2.3.

Задание 2.3

Выполнить сбор снеговой нагрузки на ферму. Исходные данные принять по табл. 2.4.

Таблица 2.2

Варианты состава кровельных слоев и перекрытий

Номер варианта	Состав слоев	Толщина слоя, мм
1	Гидроизоляционный ковер на битумной мастике	5
	Стальной кровельный лист	0,8
	Обрешетка из досок	25
	Деревянная стропильная система	—
	Рубероид	3
	Пеноизол	70
	Профилированный настил Н75	75
2	Гидроизоляционный ковер на битумной мастике	15
	Пенополистирол	50
	Гидроизоляционный ковер на битумной мастике	10
	Цементно-песчаная стяжка	40
	Сборные железобетонные ребристые плиты покрытия	300

Окончание табл. 2.2

Номер варианта	Состав слоев	Толщина слоя, мм
3	Гидроизоляционный ковер на битумной мастике	10
	Цементно-песчаная стяжка	40
	Сборные железобетонные мелкогазопустотные плитки покрытия	80
4	Гидроизоляционный ковер на битумной мастике	50
	Пенобетон	120
	Сборные железобетонные ребристые плиты покрытия	300
5	Гидроизоляционный ковер на битумной мастике	50
	Асбоцементный лист	10
	Минераловатный утеплитель	120
	Слой битума	70
	Засыпка котельным шлаком	120
	Сборные железобетонные многопустотные плиты покрытия	220
6	Гидроизоляционный ковер на битумной мастике	5
	Асбоцементный лист	10
	Минераловатный утеплитель	60
	Слой битума	50
	Пенополистирол	60
	Слой битума	30
	Сборные железобетонные многопустотные плиты покрытия	220
7	Гидроизоляционный ковер на битумной мастике	5
	Цементно-песчаная стяжка	30
	Котельный шлак	215
	Пароизоляция из одного слоя рубероида	5
	Сборные железобетонные ребристые плиты покрытия	250
8	Гидроизоляционный ковер на битумной мастике	10
	Цементно-песчаная стяжка	30
	Арболит	100
	Керамзит	70
	Сборные железобетонные ребристые плиты покрытия	300
9	Гидроизоляционный ковер на битумной мастике	10
	Цементно-песчаная стяжка	50
	Пенобетон	200
	Сборные железобетонные ребристые плиты покрытия	300
10	ПВХ мембрана	2
	Минераловатный утеплитель	150
	Профилированный настил	75
11	Сэндвич-панель	200
	Стальные прогоны	—

Таблица 2.3

Варианты состава слоев перекрытия

Номер варианта	Состав слоев	Толщина слоя, мм
1	Линолеум	5
	Фанера	10
	Засыпка керамзитом	80
	Сборные железобетонные сплошные плиты перекрытия	100
2	Линолеум	
	Цементно-песчаная стяжка	80
	Сборные железобетонные многпустотные плиты перекрытия	220
3	Бетонный пол	120
	Пенополистирол	150
	Сборные железобетонные многпустотные плиты перекрытия	220
4	Полимерный наливной пол	20
	Цементно-песчаная стяжка	50
	Ксилолитовый пол	15
	Цементно-песчаная стяжка	15
	Шлакобетон	50
	Баритовый бетон	40
	Стальной лист	2
	Сборные железобетонные ребристые плиты перекрытия	350
5	Керамическая плитка	10
	Цементно-песчаная стяжка	100
	Сборные железобетонные многпустотные плиты перекрытия	220
6	Кирпич на ребро	120
	Песчаная подсыпка	50
	Стальной лист	10
7	Керамогранит	10
	Цементно-песчаная стяжка	120
	Керамзит	200
	Сборные железобетонные многпустотные плиты перекрытия	220
8	Плитки из натурального гранита	20
	Цементно-песчаная стяжка	50
	Пароизоляция из одного слоя рубероида	5
	Монолитная железобетонная плита	200

Окончание табл. 2.3

Номер варианта	Состав слоев	Толщина слоя, мм
9	Паркет	20
	Древесно-стружечная плита	16
	Деревянные лаги пола	—
	Минераловатный утеплитель	50
	Сборные железобетонные многпустотные плиты перекрытия	220
10	Ламинат	8
	Цементно-песчаная стяжка	40
	Пенополистирол	100
	Монолитная железобетонная плита	200
11	Керамическая плитка	8
	Цементно-песчаная стяжка	50
	Гидроизоляция из двух слоев рубероида	10
	Монолитная железобетонная плита	200

Таблица 2.4

Исходные данные для вычисления снеговой нагрузки на ферму

Номер варианта	Пролет фермы L , м	Шаг узлов по верхнему поясу фермы d , м	Шаг ферм a , м	Ширина фонаря B , м	Высота фонаря h , м	Длина и ширина здания, м	Район строительства
1	24	3	6	6	3	120×48	г. Самара
2	30	3	12	12	4	156×90	г. Тюмень
3	36	3	4	6	4	120×36	г. Пермь
4	24	3	4	12	3	72×72	г. Казань
5	30	3	6	6	4	90×60	г. Астрахань
6	36	3	12	0	0	180×108	г. Н. Тагил
7	24	3	12	0	0	144×48	г. Уфа
8	30	3	4	0	0	144×30	г. Омск
9	36	3	6	0	0	120×72	г. Липецк
10	30	3	5	0	0	180×90	г. Сочи

3. РАСЧЕТ БАЛОК

Балки являются одним из основных конструктивных элементов, они широко применяются в зданиях и сооружениях и гражданского, и промышленного назначения, что обусловлено надежной работой и относительной простотой расчета, изготовления и монтажа балок.

Балки в зданиях и сооружениях работают преимущественно на прямой поперечный изгиб (изгиб), реже — на косой изгиб. Как правило, балки оказываются эффективны при небольших пролетах — до 15 м. Однако в промышленных сооружениях при больших нагрузках могут применяться балки и больших пролетов (есть примеры применения подкрановых балок пролетами 18, 24 и 36 м). В общественных зданиях применяются, как правило, балки пролетом 5–8 м, реже могут быть пролетом до 12 м.

Балки различаются по расчетной схеме (по условиям опирания) и по типу сечения.

Чаще всего применяются однопролетные шарнирно опертые балки (рис. 3.1, *а*), так как они статически определимы, малочувствительны к разности осадки опор и достаточно просты в изготовлении. В зданиях с рамным каркасом применяют балки с жесткими (рамными) узлами (рис. 3.1, *б*). Жестко защемленные балки более экономичны по расходу стали, так как при одинаковых нагрузках и пролетах изгибающие моменты в них меньше, а также они обладают большей жесткостью — при прочих равных условиях прогиб жестко защемленных балок в пять раз меньше, чем шарнирно опертых. Недостатком таких балок является сложность опорных узлов и большая чувствительность к неравномерной осадке опор.

В строительстве также применяют многопролетные балки. Разрезные многопролетные балки (рис. 3.1, *в*) проще неразрезных (рис. 3.1, *г*) в изготовлении и монтаже. Однако по расходу металла они менее вы-

годны, чем неразрезные. В неразрезных балках возникают опорные моменты, разгружающие пролет, поэтому такие балки более экономичны по расходу материала, но любые изменения нагрузки и осадки опор в любом пролете отражаются на работе всей балки в целом.

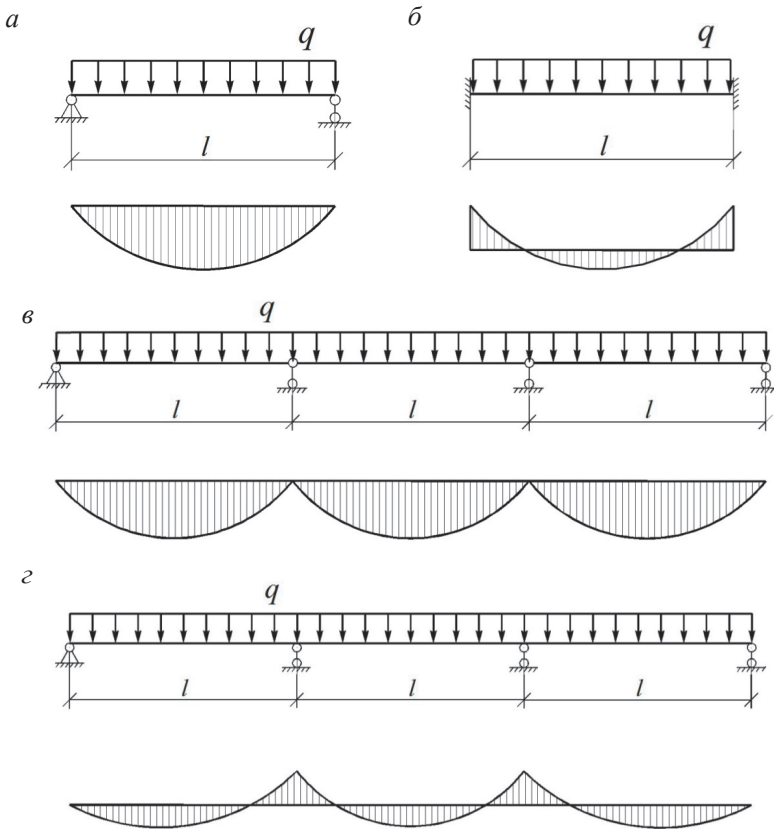


Рис. 3.1. Виды расчетных схем балок и характер эпюр изгибающих моментов:
 а — шарнирно опертая балка; б — балка с защемленными концами; в — многопролетная
 разрезная балка; г — многопролетная неразрезная балка

Наиболее экономичными по расходу стали типами сечения балок являются двутавровое, коробчатое и в виде швеллера. Чаще всего в строительстве применяют балки двутаврового сечения. Они удобны в компоновке и технологичны в изготовлении.

При определении эффективности (экономичности по расходу стали) сечения используют ядровое расстояние $\rho = W/A$, которое для сечений в виде двутавра и короба в 2—3 раза больше, чем, например, для

прямоугольного или круглого. Это означает, что при одной и той же площади сечения (то есть одной и той же массе конструкции) несущая способность сечения на изгиб оказывается наибольшей. Или, другими словами, для восприятия одинакового изгибающего момента подойдет сечение в форме двутавра с меньшей площадью сечения, чем прямоугольное, то есть двутавровая балка окажется легче.

Швеллер по эффективности близок к двутавру. Но так как у сечения в виде швеллера только одна ось симметрии, то такое сечение обладает меньшей общей устойчивостью. Как правило, швеллеры применяют в качестве прогонов.

При небольшом шаге балок нагрузка на них оказывается сравнительно небольшой, вследствие чего такие балки подбираются из требований жесткости, а не прочности, что снижает их эффективность по расходу стали.

В зависимости от нагрузки и пролета применяют балки прокатного или составного сечения (преимущественно сварные, реже болтовые или клепанные). Прокатные балки менее трудоемки в изготовлении, но имеют ограниченный размерный ряд. Однако новый ГОСТ Р 57837–2017 «Двутавры стальные горячекатаные с параллельными гранями полок» предоставляет большой диапазон типоразмеров, что позволяет подбирать сечения с требуемой степенью эффективности расхода стали. Составные сечения применяются, как правило, в тех случаях, когда невозможно подобрать прокатный профиль, например при больших нагрузках на балку или большом пролете балки.

Составление расчетной схемы балки

При составлении расчетной схемы необходимо определить величину пролета балки, тип нагрузки (распределенная, сосредоточенная) и вид опорных узлов.

Для большинства балок пролетом будет являться расстояние между точками опор (расчетный пролет), которое обычно меньше, чем расстояние между координационными осями (координационный пролет) колонн или стен, на которые опираются балки. При расчете стальных конструкций этой разницей пренебрегают и принимают расчетный пролет равным координационному.

Определение нагрузки, действующей на балку

Сбор нагрузок осуществляется в соответствии с указаниями СП 20.13330.2016 [1] и схемой расположения балок.

При равномерной нагрузке на перекрытие или покрытие на балку будет действовать равномерно распределенная нагрузка (погонная нагрузка), значение которой определяется по формуле

$$q = ga\gamma_n,$$

где g — нагрузка на 1 м^2 перекрытия (покрытия); a — ширина грузовой площади балки, равная шагу балок; γ_n — коэффициент надежности по назначению.

Определение усилий, возникающих в балке

В балках возникает два внутренних усилия — поперечная сила и изгибающий момент, которые определяются по правилам строительной механики или при помощи расчетных программных комплексов. Для некоторых расчетных схем в табл. П1.4 приведены формулы для вычисления изгибающих моментов в опасных сечениях.

Подбор сечения балки

Подбор сечения балок, как правило, выполняется из условия прочности

$$\frac{M_{\max}}{W_x R_y \gamma_c} \leq 1,$$

а в некоторых случаях из условия жесткости (ограничения прогиба):

$$f = \frac{kM^n l^2}{EI_x} \leq f_u,$$

где k — коэффициент, учитывающий расчетную схему. Для некоторых расчетных схем значения коэффициента приведены в табл. П1.4.

Проверки выбранного сечения

Для изгибаемых элементов, к которым относятся балки, проверки сечения выполняют по предельным состояниям первой и второй групп по указаниям СП 16.13330.2017 [2, раздел 8]. В общем случае необходимо проверить прочность на действие изгибающего момента, прочность на действие поперечной силы, прочность на действие местных напряжений, прочность на действие приведенных напряжений, общую устойчивость балки, местную устойчивость полки и стенки сечения, прогиб балки. Предельные значения прогибов для различных конструкций и элементов регламентируются СП 20.13330.2016 [1, раздел 15].

Примеры расчета балок

Пример 3.1

Подобрать сечение балки перекрытия торгового центра из стали С245, если состав пола следующий: керамическая плитка на клею 15 мм, цементно-песчаная стяжка 30 мм, гидроизоляция, керамзитобетон 50 мм, железобетонная плита 150 мм. Схема расположения конструкций перекрытия представлена на рис. 3.2.

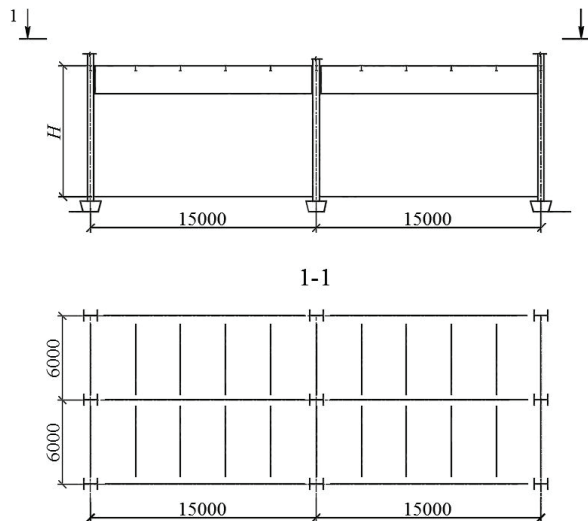


Рис. 3.2. Схема расположения конструкций перекрытия

Решение

Расчетная схема балки изображена на рис. 3.3.

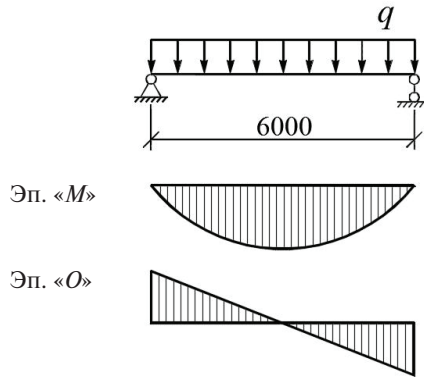


Рис. 3.3. Расчетная схема и эпюры внутренних усилий

Постоянную нагрузку определяем по составу перекрытия. Удельный вес материалов принимаем по справочным данным (табл. П1.1), коэффициенты надежности по нагрузке — по СП 20.13330.2016 [1, табл. 7.1]. Расчет значения постоянной нагрузки на перекрытие представлен в табл. 3.1.

Таблица 3.1

Постоянная нагрузка на перекрытие

№ п/п	Наименование нагрузки	Нормативное значение g' , кН/м ²	γ_f	Расчетное значение g , кН/м ²
1	Керамическая плитка на клею $\delta = 20$ мм, $\gamma = 24$ кН/м ³	0,48	1,2	0,576
2	Цементно-песчаная стяжка $\delta = 30$ мм, $\gamma = 18$ кН/м ³	0,54	1,3	0,702
3	Гидроизоляция	0,05	1,3	0,065
4	Керамзитобетон $\delta = 50$ мм, $\gamma = 8$ кН/м ³	0,4	1,3	0,52
5	Железобетонная плита $\delta = 150$ мм, $\gamma = 25$ кН/м ³	3,75	1,1	4,125
ИТОГО		5,22		5,988

Согласно СП 20.13330.2016 [1, табл. 8.3, п. 4 г] нормативная временная (полезная) нагрузка на перекрытие составит $p^n = 4$ кПа, коэффициент надежности по нагрузке $\gamma_f = 1,2$ [1, п. 8.2.2].

Вычисляем расчетную погонную нагрузку на балку:

$$q = (g + p) a \gamma_n,$$

где γ_n — коэффициент надежности по назначению, для зданий и сооружений второго уровня ответственности $\gamma_n = 1,0$ [3, табл. 2]; $a = 3$ м — шаг балок; p — расчетная временная нагрузка на перекрытие:

$$p = p^n \gamma_f = 4 \cdot 1,2 = 4,8 \text{ кПа.}$$

$$q = (5,99 + 4,8) \cdot 3 \cdot 1 = 32,37 \text{ кН/м.}$$

Максимальный изгибающий момент (расчетный):

$$M_{\max} = \frac{ql^2}{8},$$

где l — пролет балки, $l = 6$ м;

$$M_{\max} = \frac{32,37 \cdot 6^2}{8} = 145,7 \text{ кН} \cdot \text{м};$$

максимальная поперечная сила (расчетная):

$$Q_{\max} = \frac{ql}{2},$$

$$Q_{\max} = \frac{32,37 \cdot 6}{2} = 97,11 \text{ кН.}$$

Сечение балки подбираем в виде прокатного двутавра. Предварительно подбираем сечение из условия прочности [1, формула (41)] и при условии работы материала балки в упругой зоне:

$$\frac{M_{\max}}{W_x R_y \gamma_c} \leq 1,$$

где γ_c — коэффициент условий работы, $\gamma_c = 1$ [1, табл. 1]; R_y — расчетное сопротивление стали по пределу текучести для С245, принятое в предположении, что толщина проката не превысит 20 мм, $R_y = 240$ МПа [1, табл. В4].

Определяем требуемый момент сопротивления:

$$W_{x, \text{тр}} = \frac{M_{\max}}{R_y \gamma_c} = \frac{145,7 \cdot 10^3}{240 \cdot 10^6 \cdot 1} = 607 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3 = 607 \text{ см}^3,$$

и по ГОСТ 57837–2017 [7] (табл. ПЗ.2) подбираем двутавр 35Б1 со следующими геометрическими характеристиками поперечного сечения: $W_x = 641,3 \text{ см}^3$, $I_x = 11095 \text{ см}^4$, $S_x = 358,1 \text{ см}^3$, $t_w = 6 \text{ мм}$, $t_f = 9 \text{ мм}$.

Поскольку толщины полки и стенки выбранного двутавра не превышают 20 мм, то уточнять R_y не требуется.

Согласно указаниям СП 16.13330.2017 [2, п. 8.2] прочность балок проверяется на действие изгибающего момента (на прочность по нормальным напряжениям) и поперечной силы (на прочность по касательным напряжениям).

Проверяем прочность на действие изгибающего момента по формуле

$$\frac{M_{\max}}{W_x R_y \gamma_c} \leq 1,$$

$$\frac{145,7 \cdot 10^3}{641,3 \cdot 10^{-6} \cdot 240 \cdot 10^6 \cdot 1} = 0,942 < 1.$$

Прочность сечения по нормальным напряжениям обеспечена.

Проверяем прочность на действие поперечной силы по формуле

$$\frac{Q_{\max} S_x}{I_x t_w R_s \gamma_c} \leq 1,$$

где $R_s = 0,58 R_y = 0,58 \cdot 240 = 139,2 \text{ МПа}$ [2, табл. 3],

$$\frac{97,11 \cdot 10^3 \cdot 358,1 \cdot 10^{-6}}{11095 \cdot 10^{-8} \cdot 6 \cdot 10^{-3} \cdot 139,2 \cdot 10^6 \cdot 1} = 0,375 < 1.$$

Прочность сечения по касательным напряжениям обеспечена.

Поскольку верхний сжатый пояс балки развязан настилом, то общая устойчивость балки обеспечена и проверка не требуется [2, п. 8.4.4].

Для балок прокатного сечения местная устойчивость полки и стенки обеспечена сортаментом.

Определяем фактический прогиб балки:

$$f = \frac{5q^n l^4}{384EI_x},$$

где E — модуль упругости стали, $E = 2,06 \cdot 10^5 \text{ МПа}$ [2, табл. Б1].

Поскольку прогиб балок перекрытий в торговых центрах ограничивается в основном из эстетико-психологических требований, то при определении прогиба учитываются постоянные и длительные нагрузки, при этом согласно СП 20.13330.2016 коэффициент длительности $n = 0,35$ [1, п. 8.2.3].

$$q_n = (g_n + np_n) a \gamma_n = (5,22 + 0,35 \cdot 4) \cdot 3 \cdot 1 = 19,86 \text{ кН/м.}$$

$$f = \frac{5 \cdot 19,86 \cdot 10^3 \cdot 6^4}{384 \cdot 2,06 \cdot 10^{11} \cdot 11095 \cdot 10^{-8}} = 14,6 \text{ мм.}$$

Согласно СП 20.13330.2016 [1, табл. Е.1, п. 2] предельный прогиб для балки перекрытия составляет:

$$f_u = \frac{l}{200} = \frac{6000}{200} = 30 \text{ мм.}$$

Сравниваем фактический прогиб балки с предельно допустимым:

$$f = 14,6 \text{ мм} < 30 \text{ мм.}$$

Жесткость балки обеспечена.

Подобранное сечение балки соответствует всем предъявляемым требованиям. Окончательно принимаем двутавр 35 Б1 по ГОСТ 57837—2017 [7].

Пример 3.2

Подобрать сечение балки перекрытия промышленного здания из стали С255, если постоянная нагрузка на перекрытие (без учета веса балок) $g^n = 4,2$ кПа, коэффициент надежности по постоянной нагрузке $\gamma_{f1} = 1,25$, временная (полезная) нагрузка $p^n = 16$ кПа, коэффициент надежности по временной нагрузке $\gamma_{f2} = 1,2$. Схема расположения балок перекрытия представлена на рис. 3.4.

Решение

Поскольку количество балок настила, опирающихся на главную балку, больше пяти, то нагрузку на рассчитываемую главную балку можно принять равномерно распределенной. Расчетная схема балки изображена на рис. 3.5.

Вычисляем нормативную погонную нагрузку на балку:

$$q^n = (g^n + p^n) a \gamma_n,$$

$$q^n = (4,2 + 16) \cdot 6 \cdot 1 = 121,2 \text{ кН/м,}$$

где γ_n — коэффициент надежности по назначению, для зданий и сооружений второго уровня ответственности $\gamma_n = 1,0$; $a = 6$ м — шаг балок.

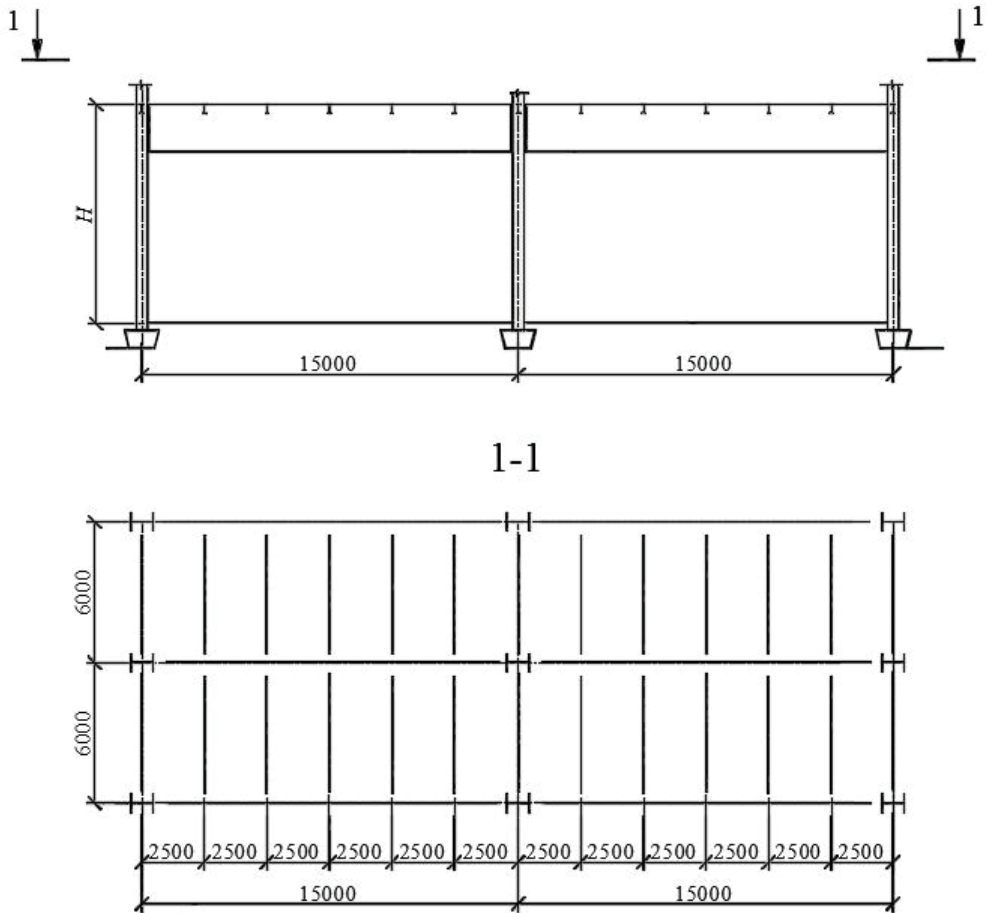


Рис. 3.4. Схема расположения балок перекрытия

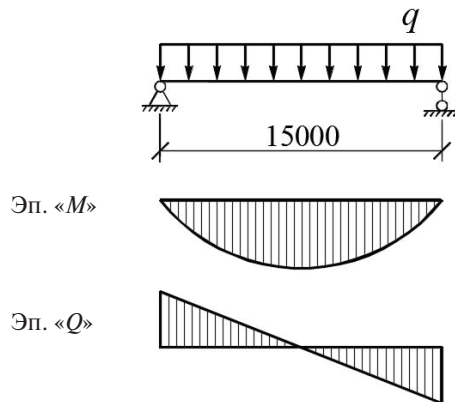


Рис. 3.5. Расчетная схема и эпюры внутренних усилий

Вычисляем нормативную погонную нагрузку на балку:

$$q = (g + p) \alpha \gamma_n,$$

где g — расчетная постоянная нагрузка на перекрытие:

$$g = g^n \gamma_f = 4,2 \cdot 1,25 = 5,25 \text{ кПа};$$

p — расчетная временная нагрузка на перекрытие:

$$p = p^n \gamma_f = 16 \cdot 1,2 = 19,2 \text{ кПа}.$$

$$q = (5,25 + 19,2) \cdot 6 \cdot 1 = 146,7 \text{ кН/м}.$$

Максимальный изгибающий момент (расчетный):

$$M_{\max} = \frac{ql^2}{8} \alpha,$$

где α — коэффициент, учитывающий собственный вес балки, $\alpha = 1,05$.

$$M_{\max} = \frac{146,7 \cdot 15^2}{8} \cdot 1,05 = 4\,332,2 \text{ кН}\cdot\text{м}.$$

Максимальный изгибающий момент (нормативный):

$$M_{\max}^n = \frac{q^n l^2}{8} \alpha = \frac{121,2 \cdot 15^2}{8} \cdot 1,05 = 3\,579,2, \text{ кН}\cdot\text{м},$$

Максимальная поперечная сила (расчетная):

$$Q_{\max} = \frac{ql}{2} \alpha,$$

$$Q_{\max} = \frac{146,7 \cdot 15}{2} \cdot 1,05 = 1\,155,3 \text{ кН}.$$

Сечение балки подбираем в виде сварного двутавра (рис. 3.6). Предварительно подбираем сечение из условия прочности [2, формула (41)] и при условии работы материала балки в упругой зоне:

$$\frac{M_{\max}}{W_x R_y \gamma_c} \leq 1,$$

где γ_c — коэффициент условий работы согласно СП 16.13330.2017, $\gamma_c = 1$ [2, табл. 1]; R_y — расчетное сопротивление стали по пределу текучести для С255, принимаемое в предположении, что толщина проката более 20 мм, $R_y = 230$ МПа [2, табл. В3].

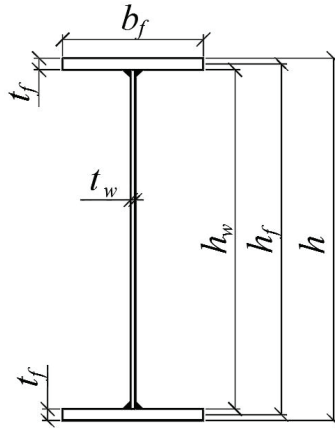


Рис. 3.6. Сечение балки

Определяем требуемый момент сопротивления:

$$W_{x, \text{тр}} = \frac{M_{\text{max}}}{R_y \gamma_c} = \frac{4\,332,2 \cdot 10^3}{230 \cdot 10^6 \cdot 1} = 18\,835 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3 = 18\,835 \text{ см}^3.$$

Для компоновки сечения предварительно принимаем толщину стенки $t_w \approx 7 + 3l/10 = 7 + 3 \cdot 15/10 = 11,5$ мм. Согласно сортаменту на листовую сталь по ГОСТ 82–70 принимаем $t_w = 11$ мм (табл. ПЗ.6).

Для предотвращения значительных сварочных деформаций желательно, чтобы отношение толщин свариваемых листов не превышало 3, то есть в нашем случае должно выполняться соотношение $t_f \leq 3t_w = 33$ мм. Согласно сортаменту на листовую сталь по ГОСТ 82–70 (табл. ПЗ.6) принимаем $t_f = 30$ мм.

Высоту балки можно принимать из различных требований. В учебной литературе по расчету и проектированию металлических конструкций рекомендуют определять высоту балки из требований экономичности и жесткости [8, формулы (5.68) и (5.61)] и [6, формулы (7.20) и (7.22)].

Сначала находим оптимальную высоту балки $h_{\text{опт}}$ (высота балки, при которой масса балки минимальна), а затем минимальную высоту $h_{\text{мин}}$ (высота, при которой прогиб балки равен предельному):

$$h_{\text{опт}} = k \sqrt{\frac{W_{x, \text{тр}}}{t_w}},$$

для сварных балок $k = 1,15$;

$$h_{\min} = \frac{5}{24} \frac{M^n l^2 R_y \gamma_c}{M E f_u},$$

где согласно СП 20.13330.2016 [1, табл. Д.1, п. 2] предельный прогиб для балки перекрытия составляет:

$$f_u = \frac{l}{225} = \frac{15\,000}{225} = 66,7 \text{ мм.}$$

Таким образом,

$$h_{\text{опт}} = 1,15 \sqrt{\frac{18\,835}{1,1}} = 150,5 \text{ см.}$$

$$h_{\min} = \frac{5}{24} \frac{3\,579,2 \cdot 15^2 \cdot 230 \cdot 10^6}{4\,332,2 \cdot 2,06 \cdot 10^{11} \cdot 0,0667} = 0,648 \text{ м.}$$

Принимаем высоту балки больше минимальной и приблизительно равную оптимальной $h = 150 \text{ см}$. Тогда $h_w = h - 2t_f = 1\,500 - 2 \cdot 30 = 1\,440 \text{ мм}$. Принимаем $h_w = 1450 \text{ мм}$. Тогда окончательно высота сечения балки $h = h_w + 2t_f = 1\,450 + 2 \cdot 30 = 1\,510 \text{ мм}$. Вычисляем вспомогательный размер $h_f = h - t_f = 1\,510 - 30 = 1\,480 \text{ мм}$.

Определяем требуемую ширину полок симметричного сечения:

$$I_x = W_{x,\text{тр}} \frac{h}{2} = 18\,835 \cdot \frac{151}{2} = 1\,422\,042 \text{ см}^4;$$

$$I_w = \frac{t_w h_w^3}{12} = \frac{1,1 \cdot 145^3}{12} = 279\,457 \text{ см}^4;$$

$$I_{2f} = I_x - I_w = 1\,422\,042 - 279\,457 = 1\,142\,585 \text{ см}^4,$$

$$b_f = \frac{2I_{2f}}{t_f h_f^2} = \frac{2 \cdot 1\,142\,585}{3 \cdot 148^2} = 34,8 \text{ см.}$$

В соответствии с ГОСТ 82–70 (табл. П3.6) принимаем $b_f = 36 \text{ см}$.
Определяем фактические геометрические характеристики сечения:

$$\begin{aligned} I_x &= \frac{t_w h_w^3}{12} + 2 \left(\frac{b_f t_f^3}{12} + b_f t_f \left(\frac{h_f}{2} \right)^2 \right) = \\ &= \frac{1,1 \cdot 145^3}{12} + 2 \left(\frac{36 \cdot 3^3}{12} + 36 \cdot 3 \cdot \left(\frac{148}{2} \right)^2 \right) = 1\,462\,435 \text{ см}^4. \end{aligned}$$

$$W_x = \frac{2I_x}{h} = \frac{2 \cdot 1\,462\,435}{151} = 19\,370 \text{ см}^3.$$

$$S_{x,f} = b_f t_f \frac{h_f}{2} = 36 \cdot 3 \cdot \frac{148}{2} = 7\,992 \text{ см}^3,$$

$$S_x = b_f t_f \frac{h_f}{2} + \frac{t_w h_w^2}{8} = 36 \cdot 3 \cdot \frac{148}{2} + \frac{1,1 \cdot 145^2}{8} = 10\,883 \text{ см}^3.$$

Проверяем прочность на действие изгибающего момента:

$$\frac{M_{\max}}{W_x R_y \gamma_c} \leq 1,$$

$$\frac{4\,332,2 \cdot 10^3}{19\,370 \cdot 10^{-6} \cdot 230 \cdot 10^6 \cdot 1} = 0,972 < 1.$$

Прочность сечения по нормальным напряжениям обеспечена.

Проверяем прочность на действие поперечной силы:

$$\frac{Q_{\max} S_x}{I_x t_w R_s \gamma_c} \leq 1,$$

где $R_s = 0,58 R_y = 0,58 \cdot 240 = 139,2 \text{ МПа}$ [2, табл. 3] (так как толщина стенки принята меньше 20 мм, то здесь $R_y = 240 \text{ МПа}$).

$$\frac{1\,155,3 \cdot 10^3 \cdot 10\,883 \cdot 10^{-6}}{1\,462\,435 \cdot 10^{-8} \cdot 11 \cdot 10^{-3} \cdot 139,2 \cdot 10^6 \cdot 1} = 0,561 < 1.$$

Прочность сечения на действие поперечной силы обеспечена.

Поскольку верхний сжатый пояс балки развязан настилом, то общая устойчивость балки обеспечена и проверка не требуется [2, п. 8.4.4].

Для проверки местной устойчивости полки вычислим ширину свеса полки:

$$b_{ef} = \frac{b_f - t_w}{2} = \frac{360 - 11}{2} = 174,5 \text{ мм}.$$

Местная устойчивость сжатой полки обеспечена, если соблюдается условие $\bar{\lambda}_f \leq \bar{\lambda}_{uf}$, где $\bar{\lambda}_f$ — условная гибкость свеса полки [2, п. 8.5.18]:

$$\bar{\lambda}_f = \frac{b_{ef}}{t_f} \sqrt{\frac{R_y}{E}} = \frac{174,5}{30} \sqrt{\frac{230}{2,06 \cdot 10^5}} = 0,194.$$

Предельная условная гибкость полки $\bar{\lambda}_{uf}$ определяется по указаниям СП 16.13330.2017 [2, п. 8.5.18]:

$$\bar{\lambda}_{uf} = 0,5 \sqrt{\frac{R_y}{\sigma_c}},$$

где σ_c — напряжение в сжатом поясе:

$$\sigma_c = \frac{M_{\max}}{W_x} = \frac{4\,332,2 \cdot 10^3}{19\,370 \cdot 10^{-6}} = 224 \text{ МПа.}$$

Тогда

$$\bar{\lambda}_{uf} = 0,5 \sqrt{\frac{230}{224}} = 0,507 \text{ и } \bar{\lambda}_f = 0,194 < 0,507.$$

Местная устойчивость сжатой полки обеспечена.

Критерием местной устойчивости стенки является условная гибкость стенки:

$$\bar{\lambda}_w = \frac{h_{ef}}{t_w} \sqrt{\frac{R_y}{E}} = \frac{1450}{11} \sqrt{\frac{240}{2,06 \cdot 10^5}} = 4,50;$$

здесь принято $R_y = 240$ МПа, так как толщина стенки $t_w < 20$ мм.

Для сечения в виде сварного двутавра $h_{ef} = h_w$.

Поскольку $\bar{\lambda}_w = 4,5 > 3,2$, то согласно СП 16.13330.2017 [2, п. 8.5.9] стенку балки необходимо укрепить поперечными ребрами жесткости. Учитывая максимально допустимое расстояние между поперечными ребрами жесткости $a = 2h_{ef} = 290$ см, принимаем $a = 250$ см (при этом шаг ребер совпадает с шагом второстепенных балок). Расположение ребер жесткости показано на рис. 3.7.

Ширину b_r и толщину t_r ребра жесткости назначаем, учитывая требования СП 16.13330.2017 [2, п. 8.5.2]:

$$b_r \geq \frac{h_w}{30} + 25 = \frac{1450}{30} + 25 = 73,3 \text{ мм,}$$

принимаем $b_r = 80$ мм;

$$t_r = 2b_r \sqrt{\frac{R_y}{E}} = 2 \cdot 80 \sqrt{\frac{240}{2,06 \cdot 10^5}} = 5,46.$$

Принимаем $t_r = 6$ мм.

Поскольку $\bar{\lambda}_w = 4,5 > 3,5$, то согласно СП 16.13330.2017 [2, п. 8.5.1–8.5.3] для стенки балки необходима проверка местной устойчивости по формуле

$$\frac{1}{\gamma_c} \sqrt{\left(\frac{\sigma}{\sigma_{cr}} + \frac{\sigma_{loc}}{\sigma_{loc,cr}} \right)^2 + \left(\frac{\tau}{\tau_{cr}} \right)^2} \leq 1.$$

При заданной расчетной схеме наиболее опасным является отсек стенки между поперечными ребрами жесткости, расположенный на расстоянии примерно $l/6$ опоры. В данном случае это — второй от поры отсек (рис. 3.7). Вычислим средние значения изгибающего момента и поперечной силы в пределах этого отсека (на расстоянии $x = 3,75$ м):

$$M' = \left(\frac{qL}{2}x - \frac{qx^2}{2} \right) \alpha = \left(\frac{146,7 \cdot 15}{2} \cdot 3,75 - \frac{146,7 \cdot 3,75^2}{2} \right) \cdot 1,05 = 3\,249,2 \text{ кНм},$$

$$Q' = \left(\frac{qL}{2} - qx \right) \alpha = \left(\frac{146,7 \cdot 15}{2} - 146,7 \cdot 3,75 \right) \cdot 1,05 = 577,6 \text{ кН}.$$

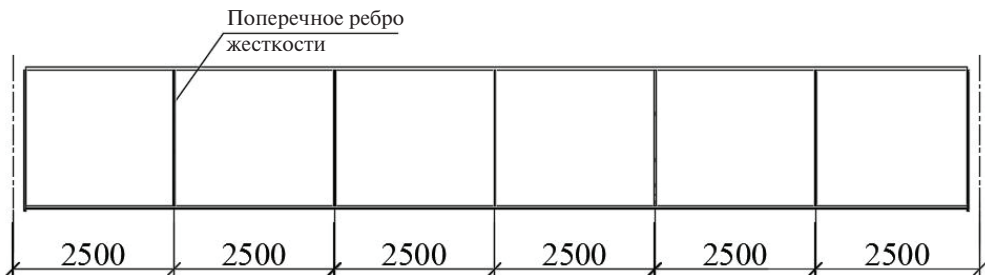


Рис. 3.7. Расположение ребер жесткости на балке

Вычислим напряжения в этом отсеке стенки:

$$\sigma = \frac{M' h_w}{I_x} = \frac{3\,249,2 \cdot 10^3}{1\,462\,435 \cdot 10^{-8}} \frac{1,45}{2} = 161,1 \text{ МПа},$$

$$\tau = \frac{Q'}{h_w t_w} = \frac{577,6 \cdot 10^3}{1,45 \cdot 0,011} = 36,21 \text{ МПа},$$

$$\sigma_{loc} = 0.$$

Найдем критические значения напряжений:

$$\sigma_{cr} = \frac{c_{cr} R_y}{\bar{\lambda}_w^2},$$

где

$$\delta = \beta \frac{b_f}{h_w} \left(\frac{t_f}{t_w} \right)^3,$$

здесь, как для прочих балок, $\beta = 0,8$ [2, табл. 13], тогда

$$\delta = 0,8 \cdot \frac{36}{145} \cdot \left(\frac{3}{1,1} \right)^3 = 4,03.$$

Отсюда $c_{cr} = 34,5$ [2, табл. 12], тогда

$$\sigma_{cr} = \frac{34,5 \cdot 240}{4,5^2} = 408,9 \text{ МПа и } \tau_{cr} = 10,3 \left(1 + \frac{0,76}{\mu^2} \right) \frac{R_s}{\bar{\lambda}_d^2},$$

здесь $\mu = \frac{a}{h_w} = \frac{250}{145} = 1,724$ — отношение большей стороны пластинки к меньшей,

$$\bar{\lambda}_d = \frac{d}{t_w} \sqrt{\frac{R_y}{E}}.$$

В этой формуле d — меньшая сторона пластинки, то есть $d = h_w = 1,45$ м, тогда $\bar{\lambda}_d = \bar{\lambda}_w = 4,5$. Отсюда

$$\tau_{cr} = 10,3 \left(1 + \frac{0,76}{1,724^2} \right) \frac{139,2}{4,5^2} = 88,9 \text{ МПа}.$$

Проверяем условие местной устойчивости стенки:

$$\frac{1}{1} \sqrt{\left(\frac{161,1}{408,9} \right)^2 + \left(\frac{36,21}{88,9} \right)^2} = 0,567 < 1.$$

Местная устойчивость стенки обеспечена.

Определяем фактический прогиб балки:

$$f = \frac{5q^n l^4}{384 E I_x},$$

где E — модуль упругости стали, $E = 2,06 \cdot 10^5$ МПа [2, табл. Б1].

Поскольку прогиб балок перекрытий промышленных зданий ограничивается на основании технологических требований, то при определении прогиба учитываются полные нагрузки и тогда

$$f = \frac{5 \cdot 121,2 \cdot 10^3 \cdot 15^4}{384 \cdot 2,06 \cdot 10^{11} \cdot 1\,462\,435 \cdot 10^{-8}} = 26,52 \text{ мм.}$$

Предельный прогиб для балки перекрытия составляет [1, табл. Д. 1, п. 2]:

$$f_u = \frac{l}{225} = \frac{15\,000}{225} = 66,6 \text{ мм.}$$

Сравниваем фактический прогиб балки с предельно допустимым прогибом:

$$f = 26,5 \text{ мм} < 66,7 \text{ мм.}$$

Жесткость балки обеспечена.

Подобранное сечение балки соответствует всем предъявляемым требованиям.

Задания для самостоятельной работы

Задание 3.1

Подобрать и проверить прокатное сечение балки офисного здания. Исходные данные принять по табл. 3.2.

Таблица 3.2

Исходные данные для расчета прокатных балок

Номер варианта	Пролет балки, м	Шаг балок, м	Сталь	g'' , кПа	$\gamma_{л1}$, кПа	p'' , кПа	$\gamma_{л2}$
1	4	2	C255	5,2	1,1	4	1,2
2	5	1	C245	4	1,2	8	1,3
3	6	6	C345	3,5	1,15	6	1,2
4	7	1,5	C345	6,2	1,1	9	1,25
5	8	3	C345	2	1,15	14	1,2
6	4,5	1	C255	3,2	1,2	10	1,15
7	5,5	2,5	C245	5,4	1,2	18	1,2
8	6,5	2	C255	6,3	1,15	20	1,25
9	7,5	4	C255	4,6	1,1	5	1,1

Окончание табл. 3.2

Номер варианта	Пролет балки, м	Шаг балок, м	Сталь	g'' , кПа	$\gamma_{л1}$, кПа	p'' , кПа	$\gamma_{л2}$
10	5	3	C345	3,7	1,2	12	1,2
11	6	1,5	C245	5,4	1,15	19	1,15
12	4	3	C255	2,8	1,1	14	1,2

Задание 3.2

Подобрать и проверить сварное сечение балки промышленного здания. Исходные данные принять по табл. 3.3.

Таблица 3.3

Исходные данные для расчета сварной балки

Номер варианта	Пролет балки, м	Шаг балок, м	Сталь	g'' , кПа	$\gamma_{л1}$, кПа	p'' , кПа	$\gamma_{л2}$
1	12	4	C255	5,2	1,1	4	1,2
2	15	5	C345	4	1,2	8	1,3
3	16	6	C355	3,5	1,15	6	1,2
4	14	7	C345	6,2	1,1	9	1,25
5	18	8	C345	2	1,15	14	1,2
6	14	4,5	C255	3,2	1,2	10	1,15
7	16	5,5	C345	5,4	1,2	18	1,2
8	12	6,5	C255	6,3	1,15	20	1,25
9	15	7,5	C255	4,6	1,1	5	1,1
10	15	5	C345	3,7	1,2	12	1,2
11	16	6	C255	5,4	1,15	19	1,15
12	14	4	C255	2,8	1,1	14	1,2

4. РАСЧЕТ ЦЕНТРАЛЬНО-СЖАТЫХ КОЛОНН

В стальных каркасах различного рода широко применяются работающие на центральное сжатие колонны или стержни, входящие в состав сложных конструкций. Центральные-сжатые колонны применяются для поддержания междуэтажных перекрытий и покрытий зданий, на рабочих площадках промышленных цехов, в путепроводах, эстакадах и тому подобное. Центральные-сжатые стержни работают в составе решетчатых ферм и рам, а также некоторых других конструкций. Расчет и конструирование основной части центрально-сжатых колонн и стержней производится одинаково.

Колонны и сжатые стержни могут быть сплошного и сквозного сечения (рис. 4.1).

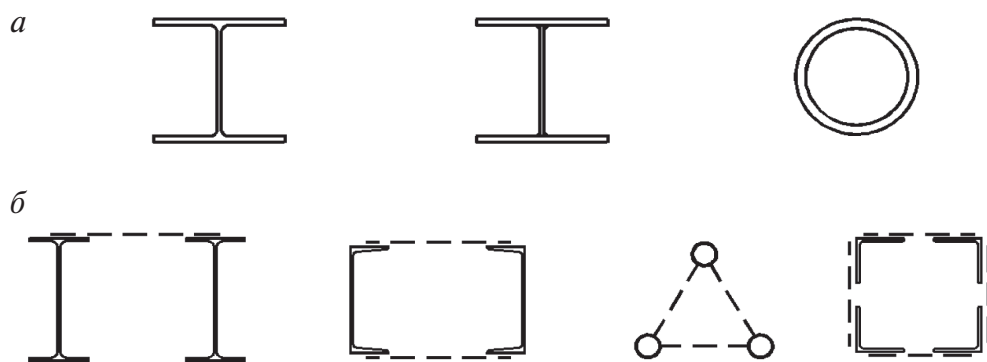


Рис. 4.1. Типы сечений колонн:

a — сплошное; *б* — сквозное

Обычно сечение сплошных колонн проектируют в виде прокатного или сварного двутавра. Такое сечение позволяет наиболее просто осуществлять примыкание поддерживаемых конструкций. Сплошные сечения, как правило, при примерно одинаковых расчетных длинах относительно осей x и y обладают разной гибкостью относитель-

но последних. Это обусловлено тем, что у сечения в форме двутавра радиус инерции относительно оси y в 1,5–2 раза меньше, чем относительно оси x . Сечение в виде круглой трубы является наиболее эффективным по расходу материала, так как данное сечение обладает наибольшим соотношением i/A , где i — радиус инерции сечения, A — площадь поперечного сечения. При одинаковой площади сечения колонна из круглой трубы сможет воспринять большую нагрузку, чем колонны с другой формой сечения. Но для колонн трубчатого сечения затруднительно осуществлять примыкание поддерживаемых конструкций (балок, ферм), поэтому такие колонны применяются в основном в одноэтажных зданиях, когда балки или фермы можно опереть на колонну сверху.

В сквозных колоннах за счет изменения ширины сечения можно добиться равноустойчивости колонны, что позволяет более эффективно использовать поперечное сечение.

Колонны сплошного сечения целесообразно применять при больших нагрузках и небольших высотах, а колонны сквозного сечения — соответственно при больших высотах и небольших нагрузках.

Расчет центрально-сжатых колонн, как и для любых конструкций, состоит из статического и конструктивного расчетов.

Составление расчетной схемы колонны

При составлении расчетной схемы необходимо определить высоту колонны, вид опорных узлов и тип нагрузки. При расчете центрально-сжатых колонн нагрузка, как правило, принимается сосредоточенной в верхнем узле колонны.

Высота (геометрическая длина) колонны принимается равной расстоянию от нижнего торца колонны до низа балки перекрытия при ее шарнирном сопряжении с колонной или до центра тяжести балки перекрытия при жестком ее сопряжении с колонной.

Тип узлов определяется при выборе вида каркаса здания — рамный, связевый или рамно-связевый. В связевом каркасе узлы назначаются шарнирными, в рамном — жесткими (рамными), а в рамно-связевом примыкание балок к колоннам принимается шарнирным, а узел соединения колонны с фундаментом — жестким.

Определение нагрузки, действующей на колонну

Сбор нагрузок осуществляется в соответствии с указаниями СП 20.13330.2016 [1] и схемой расположения конструкций.

При равномерной нагрузке на перекрытие сосредоточенная нагрузка на колонну от одного перекрытия определяется по формуле

$$F = gA_{\text{гр}}\gamma_n,$$

где g — нагрузка на 1 м^2 перекрытия; $A_{\text{гр}}$ — грузовая площадь колонны, как правило, равная произведению шагов колонн в двух направлениях; γ_n — коэффициент надежности по назначению.

В многоэтажных зданиях, если нагрузка на перекрытия одинаковая, то общую нагрузку на колонну можно определить следующим образом:

$$F = (g_{\text{пер}}A_{\text{гр}}(n-2) + g_{\text{пок}}A_{\text{гр}})\alpha\gamma_n,$$

где $g_{\text{пер}}$ — нагрузка на 1 м^2 перекрытия; $g_{\text{пок}}$ — нагрузка на 1 м^2 покрытия; α — коэффициент, учитывающий собственный вес колонны, который в расчетах можно принимать 1,03–1,06.

Усилия в колоннах в статически определимых системах определяются методами строительной механики, а в статически неопределимых системах — как правило, при помощи расчетных комплексов.

В статически определимых рамах в большинстве случаев продольная сила в колонне численно равна нагрузке на колонну: $N = F$.

Расчетная длина центрально-сжатых элементов, зависит от условий закрепления по концам:

$$l_{ef} = \mu l,$$

где μ — коэффициент приведения длины, определяемый по указаниям СП 16.13330.2017 [2, раздел 10].

Колонна может терять устойчивость в двух плоскостях — относительно оси x (в плоскости рамы) и относительно оси y (из плоскости рамы), также условия закрепления колонны в двух плоскостях могут отличаться друг от друга, поэтому при расчете колонн различают расчетную длину в плоскости рамы ($l_{x, ef} = \mu_x l_x$) и из плоскости рамы ($l_{y, ef} = \mu_y l_y$).

Подбор сечения колонны

Предварительный подбор сечения центрально-сжатых колонн и стержней выполняется из условия устойчивости [2, п. 7.1.3]

$$\frac{N}{A\varphi R_y \gamma_c} \leq 1,$$

где φ — коэффициент продольного изгиба, предварительно принимаемый в пределах 0,7–0,9.

Из условия устойчивости определяется требуемая площадь:

$$A_{\text{тр}} = \frac{N}{R_y \gamma_c \varphi}.$$

Если колонна проектируется в виде прокатного двутавра, то затем по сортаменту подбирается двутавр, обычно по серии Ш или К. Для колонн сварного сечения размеры сечения определяются исходя из требуемой площади сечения и конструктивных соображений [8, п. 6.4.3] и [6, п. 8.5.1].

Проверки подобранного сечения

По указаниям СП 16.13330.2017 центрально-сжатые элементы необходимо проверять на прочность и общую устойчивость. Однако при отсутствии ослабления сечения (например, отверстиями) прочность сечений будет заведомо обеспечена, если обеспечена общая устойчивость. Поэтому, как правило, для центрально-сжатых колонн прочность не проверяют.

Проверки подобранного сечения выполняются на колонны в целом, на местную устойчивость элементов сечения — полки и стенки [2, раздел 7].

Кроме того, для обеспечения удобства транспортировки, монтажа и эксплуатации конструкций нормами проектирования ограничивается гибкость сжатых элементов [2, п. 9.4].

Примеры расчета центрально-сжатых колонн

Пример 4.1

Подобрать сечение в форме прокатного двутавра для колонны здания торгового центра из стали С255, если продольная сила в колонне $N = 2400$ кН, расчетные длины колонны $l_{x,ef} = l_{y,ef} = 6,7$ м.

Решение

Предварительный подбор сечения выполняем из условия устойчивости [2, п. 7.1.3]

$$\frac{N}{A_{\phi} R_y \gamma_c} \leq 1,$$

где $\gamma_c = 1$ [2, табл. 1, прим. 5]; R_y — расчетное сопротивление стали по пределу текучести для С255, принимаемое в предположении, что толщина проката менее 20 мм, $R_y = 240$ МПа [2, табл. В4].

Предварительно зададимся гибкостью колонны $\lambda = 60$, тогда

$$\bar{\lambda} = \lambda \sqrt{\frac{R_y}{E}} = 60 \sqrt{\frac{240}{2,06 \cdot 10^5}} = 2,048,$$

и для типа сечения b находим $\phi = 0,736$ [2, табл. 7 и Д1].

$$A_{\text{тр}} = \frac{N}{R_y \gamma_c \phi} = \frac{2400 \cdot 10^3}{240 \cdot 10^6 \cdot 1 \cdot 0,736} = 135,9 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2 = 135,9 \text{ см}^2.$$

По ГОСТ 57837–2017 (табл. ПЗ.4) принимаем двутавр 35К1 с $A = 139,03 \text{ см}^2$, $i_x = 14,99 \text{ см}$, $i_y = 8,71 \text{ см}$ (рис. 4.2).

Находим фактические гибкости колонны:

$$\lambda_x = \frac{l_{x,ef}}{i_x} = \frac{670}{14,99} = 44,7, \quad \lambda_y = \frac{l_{y,ef}}{i_y} = \frac{670}{8,71} = 76,9.$$

$\lambda_{\text{max}} = \lambda_y$, следовательно,

$$\bar{\lambda} = \lambda_{\text{max}} \sqrt{\frac{R_y}{E}} = 76,9 \sqrt{\frac{240}{2,06 \cdot 10^5}} = 2,62.$$

Двутавры относятся к типу сечения b [2, табл. 7], тогда $\phi = 0,631$ [2, табл. Д1].

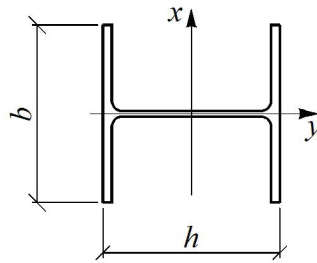


Рис. 4.2. Сечение колонны

Проверяем условие устойчивости:

$$\frac{2\,400 \cdot 10^3}{139,03 \cdot 10^{-4} \cdot 0,631 \cdot 240 \cdot 10^6 \cdot 1} = 1,14 > 1.$$

Устойчивость колонны относительно оси y не обеспечена, тогда по ГОСТ 57837–2017 (табл. П3.4) принимаем двутавр 35К2 с $A = 173,87 \text{ см}^2$, $i_x = 15,22 \text{ см}$, $i_y = 8,84 \text{ см}$.

Находим фактические гибкости колонны:

$$\lambda_x = \frac{l_{x,ef}}{i_x} = \frac{670}{15,22} = 44,0; \quad \lambda_y = \frac{l_{y,ef}}{i_y} = \frac{670}{8,84} = 75,8.$$

$\lambda_{\max} = \lambda_y$, следовательно,

$$\bar{\lambda} = \lambda_{\max} \sqrt{\frac{R_y}{E}} = 75,8 \sqrt{\frac{240}{2,06 \cdot 10^5}} = 2,59,$$

тогда $\varphi = 0,639$ [2, табл. Д1].

Проверяем условие устойчивости:

$$\frac{2400 \cdot 10^3}{173,87 \cdot 10^{-4} \cdot 0,639 \cdot 240 \cdot 10^6 \cdot 1} = 0,90 < 1.$$

Устойчивость колонны относительно оси y обеспечена.

Для любых сжатых и сжато-изгибаемых элементов фактические значения гибкостей не должны превышать предельно допустимых значений:

$$\lambda_{\max} \leq \lambda_u.$$

Находим значение предельно допускаемой гибкости для основных колонн каркаса $\lambda_u = 180 - 60\alpha$ [2, табл. 32], где

$$\alpha = \frac{N}{AR_y \varphi \gamma_c} = \frac{2400 \cdot 10^3}{173,87 \cdot 10^{-4} \cdot 0,639 \cdot 240 \cdot 10^6 \cdot 1} = 0,90.$$

Тогда

$$\lambda_u = 180 - 60 \cdot 0,90 = 126 \text{ и } \lambda_{\max} = \lambda_y = 75,8 < 126.$$

Фактическая гибкость колонны не превышает предельно допустимой для основной колонны каркаса.

Окончательно принимаем двутавр 35К2 по ГОСТ 57837–2017.

Пример 4.2

Подобрать сварное сечение колонны рабочей площадки промышленного здания (рис. 4.2) из стали С245, если постоянная нагрузка на перекрытие (с учетом веса балок) $g'' = 4,8$ кПа, коэффициент надежности по постоянной нагрузке $\gamma_{f1} = 1,2$, временная (полезная) нагрузка $p'' = 12$ кПа, коэффициент надежности по временной нагрузке $\gamma_{f2} = 1,3$. Отметка пола рабочей площадки $H = 6,5$ м, высота главной балки $h_{г.б} = 1,3$ м, высота второстепенной балки $h_{в.б} = 0,4$ м.

Решение

Определим нагрузку, действующую на колонну.

$$N = (g'' \gamma_{f1} + p'' \gamma_{f2}) L l \alpha \gamma_n,$$

где L — пролет главной балки, $L = 15$ м; l — пролет второстепенной балки, $l = 6,0$ м; α — коэффициент, учитывающий собственный вес колонны, $\alpha = 1,04$; γ_n — коэффициент надежности по назначению для зданий и сооружений второго уровня ответственности, $\gamma_n = 1,0$ [4, табл. 2];

$$N = (4,8 \cdot 1,2 + 12 \cdot 1,3) \cdot 15 \cdot 6 \cdot 1,04 \cdot 1,0 = 1999,3 \text{ кН}.$$

Найдем геометрическую длину колонны в плоскости рамы (рис. 4.3)

$$l_x = H + h_3 - h_{г.б},$$

где h_3 — глубина заделки колонны, которую примем $h_3 = 0,8$ м (рекомендуемая глубина заделки для колонн $h_3 = 0,5 \dots 1,0$ м), тогда

$$l_x = 6,5 + 0,8 - 1,3 = 6,0 \text{ м}.$$

Найдем геометрическую длину колонны из плоскости рамы

$$l_y = H + h_3 - h_{в.б} = 6,5 + 0,8 - 0,4 = 6,9 \text{ м}.$$

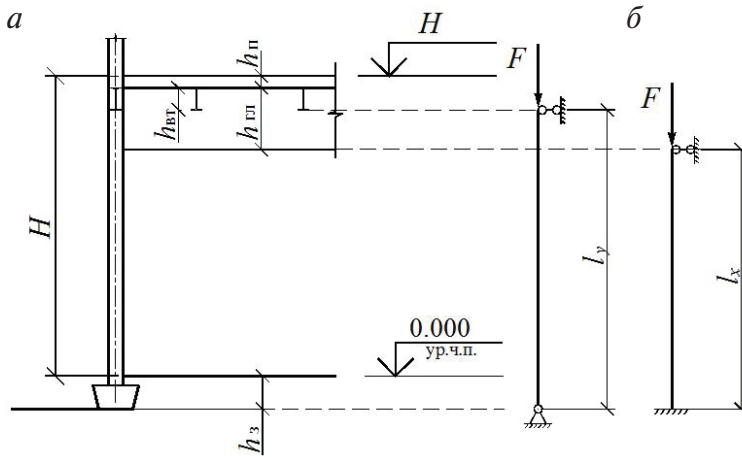


Рис. 4.3. Схема колонны:
а — конструктивная; б — расчетная

Поскольку балки опираются на колонну шарнирно, а базу колонны примем, как на рис. 4.4 (такая конструкция базы обеспечивает жесткое сопряжение с фундаментом в плоскости рамы, а шарнирное — из плоскости рамы), то получим расчетную схему колонны, как показано на рис. 4.3, б.

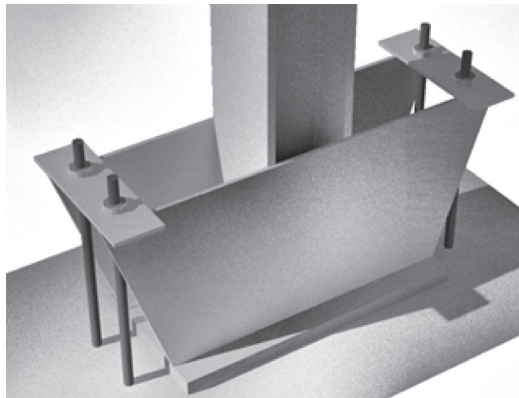


Рис. 4.4. Схема базы колонны

Расчетная длина колонны в плоскости рамы (относительно оси x):

$$l_{x,ef} = \mu_x l_x,$$

где μ_x — коэффициент приведения длины, $\mu_x = 0,7$ [2, табл. 30], тогда

$$l_{x,ef} = 0,7 \cdot 6 = 4,2 \text{ м.}$$

Расчетная длина колонны из плоскости рамы (относительно оси y):

$$l_{y,ef} = \mu_y l_y,$$

где μ_y — коэффициент приведения длины, $\mu_y = 1,0$ [2, табл. 30], тогда

$$l_{y,ef} = 1 \cdot 6,9 = 6,9 \text{ м.}$$

Предварительный подбор сечения выполняем из условия устойчивости [2, п. 7.1.3]

$$\frac{N}{A\varphi R_y \gamma_c} \leq 1,$$

где $\gamma_c = 1$ [2, табл. 1, прим. 5]; R_y — расчетное сопротивление стали по пределу текучести для С245, принимаемое в предположении, что толщина проката менее 20 мм, $R_y = 240$ МПа [2, табл. В4].

Предварительно зададимся гибкостью колонны $\lambda = 70$, тогда

$$\bar{\lambda} = \lambda \sqrt{\frac{R_y}{E}} = 70 \sqrt{\frac{240}{2,06 \cdot 10^5}} = 2,39.$$

Для типа сечения c находим $\varphi = 0,637$ [2, табл. Д1].

$$A_{тр} = \frac{N}{R_y \gamma_c \varphi} = \frac{1999,3 \cdot 10^3}{240 \cdot 10^6 \cdot 1 \cdot 0,637} = 130,8 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2 = 130,8 \text{ см}^2.$$

Используя условие равноустойчивости для центрально-сжатой колонны $\lambda_x = \lambda_y$ и формулы для приближенного определения гибкости сечения

$$\lambda_x = \frac{l_{x,ef}}{\alpha_x h} \text{ и } \lambda_y = \frac{l_{y,ef}}{\alpha_y b},$$

находим примерные ширину и высоту сечения (здесь коэффициенты пропорциональности для сечения в форме двутавра $\alpha_x = 0,43$ и $\alpha_y = 0,24$ [8, прил. 10]):

$$h = \frac{l_{x,ef}}{\lambda_x \alpha_x} = \frac{420}{70 \cdot 0,43} = 13,95 \text{ см}, \quad b = \frac{l_{y,ef}}{\lambda_y \alpha_y} = \frac{690}{70 \cdot 0,24} = 41,1 \text{ см.}$$

При этом ширина получилась в три раза больше высоты сечения, и такой вариант сечения является неконструктивным, поэтому по конструктивным соображениям принимаем $h = b = 40$ см (рис. 4.5).

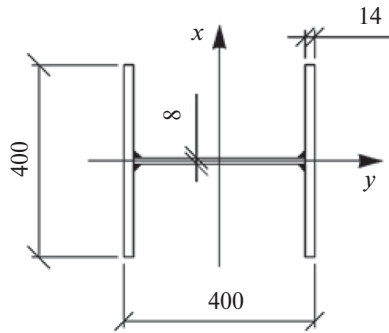


Рис. 4.5. Сварное сечение колонны

В оптимальном двутавровом сечении центрально-сжатой колонны площадь полки составляет примерно 80 % площади всего сечения, тогда

$$t_f = \frac{0,8A_{\text{тр}}}{2b} = \frac{0,8 \cdot 130,8}{2 \cdot 40} = 1,308 \text{ см.}$$

Принимаем $t_f = 1,4$ см согласно ГОСТ 82–70 (табл. ПЗ.6).

$$t_w = \frac{0,2A_{\text{тр}}}{h - 2t_f} = \frac{0,2 \cdot 130,8}{40 - 2 \cdot 1,4} = 0,7 \text{ см.}$$

Принимаем $t_w = 0,8$ см согласно ГОСТ 82–70 (табл. ПЗ.6).

Проверяем соответствие принятых размеров сечения конструктивным требованиям:

- 1) $10 \text{ мм} < t_f = 14 \text{ мм} < 40 \text{ мм}$;
- 2) $t_w = 8 \text{ мм} > 6 \text{ мм}$;
- 3) $\frac{t_f}{t_w} = \frac{14}{8} = 1,75 < 3$.

Сечение колонны удовлетворяет конструктивным требованиям.

Определяем фактические геометрические характеристики:

$$\begin{aligned} A &= 2bt_f + (h - 2t_f)t_w = \\ &= 2 \cdot 40 \cdot 1,4 + (40 - 2 \cdot 1,4) \cdot 0,8 = 141,76 \text{ см}^2; \\ I_x &= \frac{bh^3}{12} - \frac{(b - t_w)(h - 2t_f)^3}{12} = \\ &= \frac{40 \cdot 40^3}{12} - \frac{(40 - 0,8)(40 - 2 \cdot 1,4)^3}{12} = 45169 \text{ см}^4; \end{aligned}$$

$$i_x = \sqrt{\frac{I_x}{A}} = \sqrt{\frac{45169}{141,76}} = 17,85 \text{ см};$$

$$I_y = 2 \cdot \frac{t_f b^3}{12} + \frac{(h - 2t_f)t_w^3}{12} =$$

$$= 2 \cdot \frac{1,4 \cdot 40^3}{12} + \frac{(40 - 2 \cdot 1,4) \cdot 0,8^3}{12} = 14\,935 \text{ см}^4;$$

$$i_y = \sqrt{\frac{I_y}{A}} = \sqrt{\frac{14\,935}{141,76}} = 10,26 \text{ см}.$$

Находим фактические гибкости колонны:

$$\lambda_x = \frac{l_{x,ef}}{i_x} = \frac{420}{17,85} = 23,5; \quad \lambda_y = \frac{l_{y,ef}}{i_y} = \frac{690}{10,26} = 67,2.$$

$\lambda_{\max} = \lambda_y$, следовательно,

$$\bar{\lambda} = \lambda_{\max} \sqrt{\frac{R_y}{E}} = 67,2 \sqrt{\frac{240}{2,06 \cdot 10^5}} = 2,29.$$

Согласно СП 16.13330.2017 определяем для типа сечения b [2, табл. 7] $\varphi = 0,692$ [2, табл. Д1].

Проверяем условие устойчивости:

$$\frac{1999,3 \cdot 10^3}{141,76 \cdot 10^{-4} \cdot 0,692 \cdot 240 \cdot 10^6 \cdot 1} = 0,849 < 1.$$

Устойчивость колонны относительно оси y обеспечена.

Устойчивость полки обеспечена, если выполняется соотношение

$$\bar{\lambda}_f \leq \bar{\lambda}_{uf}, \text{ где } \bar{\lambda}_f \text{ — условная гибкость полки, } \bar{\lambda}_f = \frac{b_{ef}}{t_f} \sqrt{\frac{R_{yf}}{E}}.$$

Найдем свес полки

$$b_{ef} = \frac{b - t_w}{2} = \frac{40 - 0,8}{2} = 19,6 \text{ см}.$$

Тогда

$$\bar{\lambda}_f = \frac{19,6}{1,4} \sqrt{\frac{240}{2,06 \cdot 10^5}} = 0,478.$$

Поскольку условная гибкость колонны $\bar{\lambda} = 2,29$, то согласно СП 16.13330.2017 [2, табл. 10]

$$\bar{\lambda}_{uf} = 0,36 + 0,10\bar{\lambda} = 0,36 + 0,10 \cdot 2,29 = 0,589.$$

Тогда $\bar{\lambda}_f = 0,478 < 0,589$, и местная устойчивость полки обеспечена.

Местная устойчивость стенки обеспечена, если выполняется условие $\bar{\lambda}_w < \bar{\lambda}_{uw}$, где условная гибкость стенки $\bar{\lambda}_w$ рассчитывается по формуле

$$\bar{\lambda}_w = \lambda_w \sqrt{\frac{R_y}{E}} = \frac{h_w}{t_w} \sqrt{\frac{R_y}{E}};$$

$$\bar{\lambda}_w = \frac{39,2}{0,8} \sqrt{\frac{240}{2,06 \cdot 10^5}} = 1,67.$$

Предельную условную гибкость стенки $\bar{\lambda}_{uw}$ при $\bar{\lambda} = 2,29 > 2$ определяем по СП 16.13330.2017 [2, табл. 9]:

$$\bar{\lambda}_{uw} = 1,2 + 0,35\bar{\lambda}^2 = 1,20 + 0,35 \cdot 2,29^2 = 3,04,$$

и тогда $\bar{\lambda}_w = 1,67 < 3,04$, то есть местная устойчивость стенки обеспечена.

Для любых сжатых и сжато-изгибаемых элементов фактические значения гибкостей не должны превышать предельно допустимых значений $\lambda_{\max} \leq \lambda_u$.

Согласно СП 16.13330.2017 находим значение предельно допускаемой гибкости для основных колонн каркаса $\lambda_u = 180 - 60\alpha$ [2, табл. 32], где

$$\alpha = \frac{N}{AR_{y\varphi\gamma_c}} = \frac{1\,999,3}{141,76 \cdot 24 \cdot 0,692 \cdot 1} = 0,849.$$

Тогда $\lambda_u = 180 - 60 \cdot 0,849 = 129$ и $\lambda_{\max} = \lambda_y = 67,2 < 129$.

Фактическая гибкость колонны не превышает предельно допустимой для основной колонны каркаса.

Окончательно принимаем сечение колонны в виде сварного двутавра с полками 400x14 и стенкой 372x8.

Задания для самостоятельной работы

Задание 4.1

Подобрать и проверить прокатное сечение центрально-сжатой колонны офисного здания. Исходные данные принять по табл. 4.1.

Таблица 4.1

Исходные данные для расчета центрально-сжатой колонны

Номер варианта	Расчетная длина $l_{x, \text{эф}}$, м	Расчетная длина $l_{y, \text{эф}}$, м	Сталь	Нагрузка на колонну, кН	Тип сечения
1	6	7	C255	1200	Круглая труба
2	7	5	C345	2800	Двутавр
3	6	6	C355	1900	Квадратная труба
4	7	7	C345	1750	Круглая труба
5	8	8	C345	3800	Двутавр
6	6	4,5	C255	2100	Круглая труба
7	5	5,5	C345	2500	Двутавр
8	8	6,5	C255	1700	Квадратная труба
9	7,5	7,5	C255	2640	Двутавр
10	6	5	C345	1340	Прямоугольная труба
11	6	6	C255	1680	Круглая труба
12	5	6	C255	2470	Двутавр

Задание 4.2

Подобрать и проверить сварное сечение в форме двутавра центрально-сжатой колонны промышленного здания. Исходные данные принять по табл. 4.2.

Таблица 4.2

Исходные данные для расчета центрально-сжатой колонны

Номер варианта	Расчетная длина $l_{x, \text{эф}}$, м	Расчетная длина $l_{y, \text{эф}}$, м	Сталь	Нагрузка на колонну, кН
1	6	7	C255	2200
2	7	5	C345	3800
3	6	6	C355	3900
4	7	7	C345	3750
5	8	8	C345	4800
6	6	4,5	C255	3100
7	5	5,5	C345	3500
8	8	6,5	C255	4700
9	7,5	7,5	C255	2640
10	6	5	C345	2340
11	6	6	C255	3680
12	5	6	C255	4470

5. РАСЧЕТ ФЕРМ ПОКРЫТИЯ

Ферма — это система стержней, как правило, прямолинейных, соединенных между собой в узлах, образующая геометрически неизменяемую конструкцию. При расчете ферм принимают два допущения: все узлы принимаются шарнирными, а нагрузки — сосредоточенными в узлах. В этом случае все стержни фермы испытывают только осевые усилия, то есть центрально сжаты или центрально растянуты.

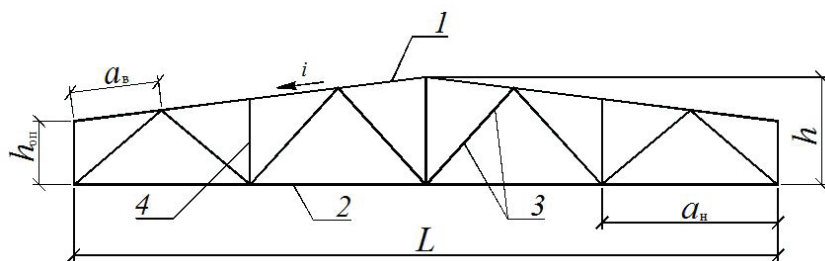


Рис. 5.1. Основные конструктивные элементы фермы покрытия:

1 — верхний пояс; 2 — нижний пояс; 3 — раскосы; 4 — стойка; i — уклон фермы;
 L — пролет фермы; a_n — ширина панели нижнего пояса; a_v — ширина панели верхнего пояса;
 $h_{оп}$ — высота фермы на опоре; h — высота фермы

Фермы можно рассматривать как балки сквозного сечения, в которых пояса в основном воспринимают изгибающий момент, а элементы решетки воспринимают поперечную силу.

По расходу металла фермы экономичнее балок, но благодаря большому количеству узлов более трудоемки в изготовлении. Фермы становятся экономически выгоднее балок при пролетах от 15 м и выше.

Сечение элементов ферм может быть запроектировано из парных уголков, круглых труб, квадратных и прямоугольных гнуто-сварных замкнутых профилей (квадратных и прямоугольных труб), двутавров или тавров. В покрытиях промышленных зданий наибольшее распро-

странение получили уголкового фермы, а в покрытиях зданий спортивных, торговых и складских комплексов чаще применяются фермы из гнуто-сварных замкнутых профилей.

Порядок расчета фермы

Расчет фермы состоит из двух основных этапов: статический расчет для определения усилий в стержнях фермы от внешних нагрузок (при выполнении статического расчета составляется расчетная схема фермы, выполняется сбор нагрузок и вычисляются внутренние усилия); конструктивный расчет (подбор и проверка поперечных сечений элементов).

Составление расчетной схемы фермы

В случае прогонной кровли нагрузка на ферму передается сосредоточенными силами в узлы. В большинстве случаев узлы ферм выполняются сварными и фактически шарнирными не являются. Но при действии узловой нагрузки фактическая жесткость узлов незначительно влияет на усилия в элементах, поэтому в расчетной схеме узлы ферм принимаются шарнирными.

При беспрогонной кровле, когда профлист опирается непосредственно на верхний пояс фермы, следует нагрузку на ферму принимать равномерно распределенной и узлы верхнего пояса в расчетной схеме принимать жесткими. В этом случае верхний пояс следует считать как сжато-изгибаемый элемент.

Определение нагрузки, действующей на ферму

Сбор нагрузок осуществляется в соответствии с указаниями СП 20.13330.2016 [1] и схемой расположения конструкций. В примере 2.2 рассмотрен сбор снеговой нагрузки на ферму.

Определение усилий, возникающих в элементах фермы

Определение внутренних усилий выполняется различными методами строительной механики: методом вырезания узлов, методом сечений (методом Риттера), графическим методом по диаграмме Максвелла-Кремоны, методом конечных элементов. Последний метод в настоящее время получил массовое распространение благодаря своей универсальности и удобной реализации в разнообразных расчетных комплексах.

На рис. 5.2 приведены усилия в стержнях типовых ферм с параллельными поясами, определенные методом конечных элементов от единичной узловой нагрузки.

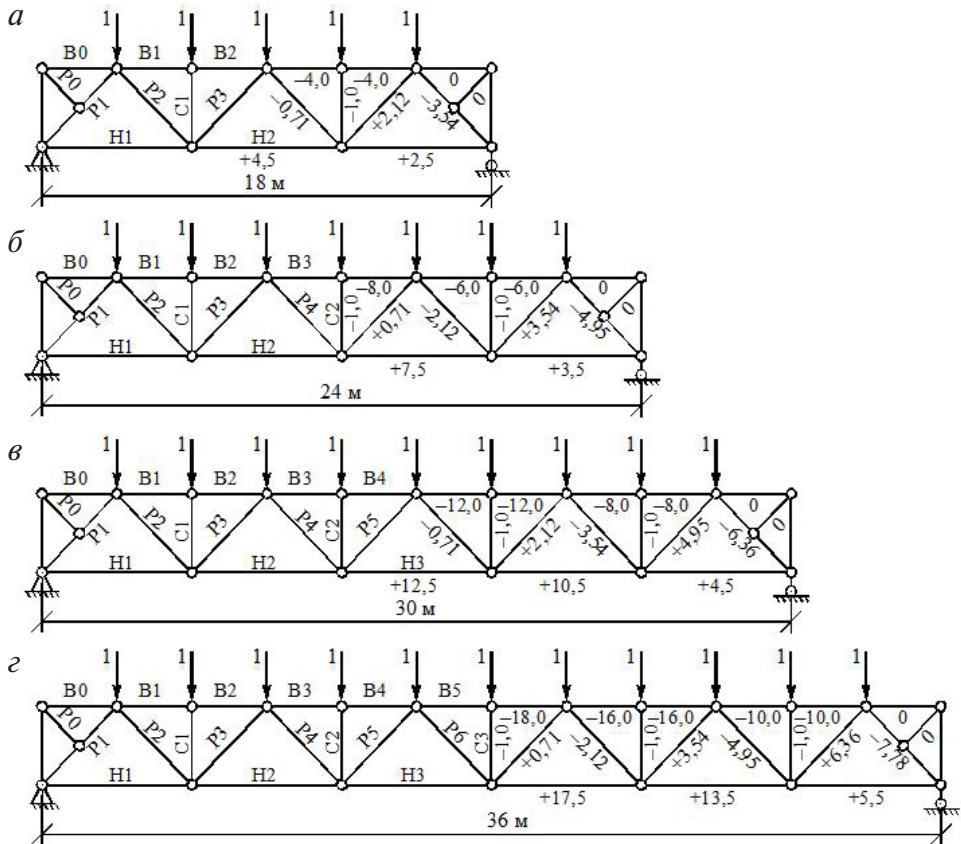


Рис. 5.2. Обозначение стержней и усилия n_1 в стержнях ферм с параллельными поясами от единичной узловой нагрузки (высота всех ферм 3,15 м):

a — для фермы пролетом 18 м; *б* — пролетом 24 м; *в* — пролетом 30 м; *г* — пролетом 36 м

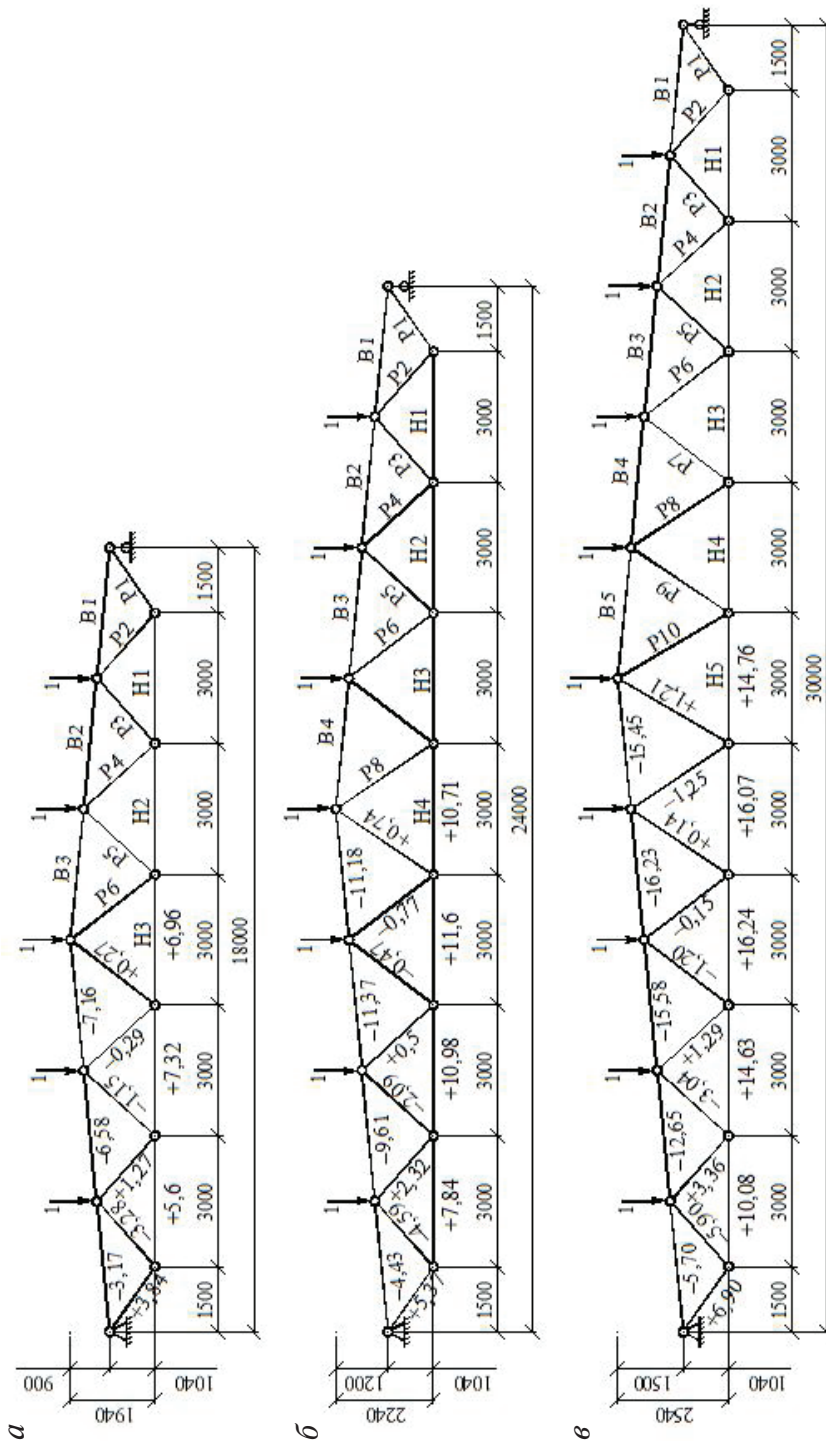


Рис. 5.3. Обозначение стержней и усилия n_1 в стержнях ферм из гнуто-сварных профилей от единичной узловой нагрузки:

a — для фермы пролетом 18 м; *б* — пролетом 24 м; *в* — пролетом 30 м

На рис. 5.3 приведены усилия в стержнях типовых ферм из гнуто-сварных профилей. Используя эти схемы, можно определить усилия в таких фермах от постоянной и равномерно распределенной по кровле снеговой нагрузки.

Подбор сечения элементов фермы

Конструктивный расчет ставит своей целью подобрать и проверить сечение каждого элемента фермы. Подбор сечений стержней фермы выполняется из условия прочности (для растянутых стержней)

$$\frac{N}{AR_y\gamma_c} \leq 1$$

или из условия устойчивости (для сжатых стержней)

$$\frac{N}{A\varphi R_y\gamma_c} \leq 1,$$

где N — расчетное усилие в элементе фермы; A — площадь поперечного сечения элемента фермы; φ — коэффициент устойчивости при центральном сжатии; R_y — расчетное сопротивление стали по пределу текучести; γ_c — коэффициент условий работы.

В целях упрощения и повышения технологичности изготовления для сечений элементов ферм проводят унификацию. Для уголкового ферм пролетом до 24 м сечение пояса по длине принимают одинаковым, а элементы решетки принимают из 2 или 3 типов уголков. Для уголкового ферм пролетом больше 24 м пояса делают с изменением сечения по длине, применяя два типа сечений на пояс, а элементы решетки принимают из 3 или 4 типов уголков. В фермах из гнуто-сварных замкнутых профилей пояса проектируют постоянного сечения по длине, а элементы решетки принимают из 2 или 3 типов профилей.

Проверки подобранных сечений

Растянутые элементы фермы проверяются на прочность, а сжатые — на устойчивость. Сжатые элементы фермы могут терять устойчивость в двух плоскостях — относительно оси x (в плоскости фермы)

и относительно оси y (из плоскости фермы), поэтому при расчете различают расчетную длину в плоскости фермы (l_x) и из плоскости фермы (l_y). Указания по определению расчетных длин элементов ферм изложены в СП 16.13330.2017 [2, п. 10.1.1 и табл. 24]. Выдержки из этих указаний представлены в прил. 2.

Кроме того, для обеспечения удобства транспортировки, монтажа и эксплуатации ферм покрытия нормами проектирования ограничиваются гибкости сжатых и растянутых стержней:

$$\lambda \leq \lambda_{cr}$$

Предельные значения гибкостей для сжатых и растянутых элементов отличаются и назначаются в СП 16.13330.2017 [2, табл. 32 и 33]. Выдержки из этих таблиц представлены в прил. 2.

Примеры расчета ферм покрытия

Пример 5.1

Подобрать сечение основных элементов фермы покрытия пролетом 24 м с параллельными поясами (рис. 5.4). Шаг ферм 6 м. Ферма изготовлена из стали С255. Постоянная расчетная нагрузка на ферму (включая собственный вес конструкций покрытия) $g = 2$ кПа. Снеговую нагрузку принять для III снегового района.

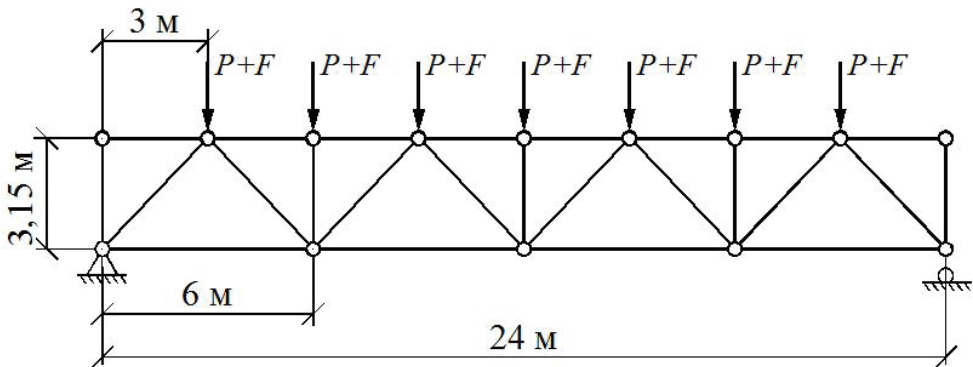


Рис. 5.4. Схема фермы

Решение

Определим расчетные нагрузки в узлах фермы:

- постоянная P :

$$P = gba = 2 \cdot 6 \cdot 3 = 36 \text{ кН},$$

где g — расчетная постоянная нагрузка на кровлю, $g = 2$ кПа; b — шаг ферм покрытия, $b = 6$ м; a — ширина панели верхнего пояса фермы, $a = 3$ м;

- снеговая F :

$$F = Sba = 2,10 \cdot 6 \cdot 3 = 37,8 \text{ кН},$$

где расчетное значение снеговой нагрузки $S = 2,1$ кПа взято из примера 2.2.

Расчетные усилия в стержнях фермы определим с помощью данных рис. 5.2. Результат определения усилий представлен в табл. 5.1.

Таблица 5.1

Усилия в элементах фермы

Элемент фермы	Стержень	Усилие от единичной нагрузки n_1	Усилие от полной нагрузки $N = n_1 (P + F)$, кН	Напряженное состояние
Верхний пояс	B1	−6	−442,8	Сжатие
	B2	−6	−442,8	Сжатие
	B3	−8	−590,4	Сжатие
Нижний пояс	H1	+3,5	+258,3	Растяжение
	H2	+7,5	+553,5	Растяжение
Раскосы	P1	−4,95	−365,3	Сжатие
	P2	+3,54	+261,3	Растяжение
	P3	−2,12	−156,5	Сжатие
	P4	+0,71	+52,4	Растяжение
Стойки	C1	−1	−73,8	Сжатие
	C2	−1	−73,8	Сжатие
Подкосы	P0	0	0	—

Сечение элементов фермы примем из двух равнополочных уголков по ГОСТ 8509–93 (табл. ПЗ.7). Толщину фасонки примем $\delta = 10$ мм.

Подбор сжатых элементов фермы

Элемент верхнего пояса ВЗ, $N = 590,4$ кН.

Предварительный подбор сечения выполняем из условия устойчивости [2, п. 7.1.3]:

$$\frac{N}{A\varphi R_y \gamma_c} \leq 1,$$

где $\gamma_c = 1$ [2, табл. 1, прим. 5] (для сжатых основных элементов решетки коэффициент условий работы $\gamma_c = 0,8$ [2, табл. 1, п. 4]); R_y — расчетное сопротивление стали по пределу текучести для С255, принимаемое в предположении, что толщина проката менее 10 мм [2, табл. В5], $R_y = 250$ МПа.

Предварительно зададимся гибкостью элемента верхнего пояса $\lambda = 80$, тогда

$$\bar{\lambda} = \lambda \sqrt{\frac{R_y}{E}} = 80 \sqrt{\frac{250}{2,06 \cdot 10^5}} = 2,79,$$

и для типа сечения с находим $\varphi = 0,600$ [2, табл. Д1].

$$A_{\text{тр}} = \frac{N}{R_y \gamma_c \varphi} = \frac{590,4 \cdot 10^3}{250 \cdot 10^6 \cdot 1 \cdot 0,6} = 31,5 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2 = 39,36 \text{ см}^2.$$

По ГОСТ 8509—93 (табл. ПЗ.7) принимаем сечение верхнего пояса 2L 125×8 (рис. 5.5, а) с $A = 39,38 \text{ см}^2$, $i_x = 3,87 \text{ см}$, $i_y = 5,46 \text{ см}$.

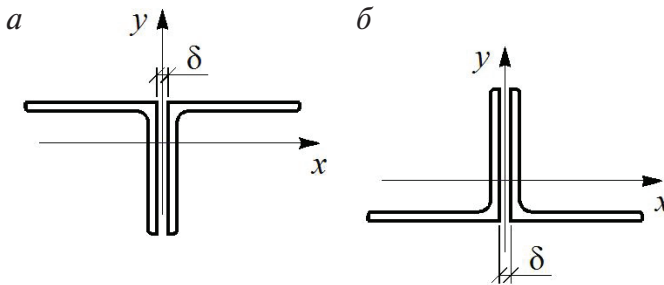


Рис. 5.5. Сечение элемента фермы из парных уголков:
а — для верхнего пояса; б — для нижнего пояса

Расчетная длина элементов верхнего пояса в плоскости фермы будет равна геометрической длине элементов: $l_{x,ef} = 3$ м, а расчетная длина элементов из плоскости фермы будет равна шагу прогонов: $l_{y,ef} = 3$ м;

при этом учтем, что прогоны крепятся к верхнему поясу фермы на сварке, а также соединяются с ветровыми связями по фермам.

Находим фактические гибкости элемента верхнего пояса:

$$\lambda_x = \frac{l_{x,ef}}{i_x} = \frac{300}{3,87} = 77,5; \quad \lambda_y = \frac{l_{y,ef}}{i_y} = \frac{300}{5,46} = 54,9.$$

$\lambda_{\max} = \lambda_x$, следовательно,

$$\bar{\lambda} = \lambda_{\max} \sqrt{\frac{R_y}{E}} = 77,5 \sqrt{\frac{250}{2,06 \cdot 10^5}} = 2,70.$$

Тогда для типа сечения c определяем $\varphi = 0,617$ [2, табл. 7 и Д1].

Проверяем условие устойчивости:

$$\frac{590,4 \cdot 10^3}{39,38 \cdot 10^{-4} \cdot 0,617 \cdot 250 \cdot 10^6 \cdot 1} = 0,972 < 1.$$

Устойчивость элемента ВЗ обеспечена.

Для любых сжатых и сжато-изгибаемых элементов фактические значения гибкостей не должны превышать предельно допустимых значений $\lambda_{\max} \leq \lambda_u$. Находим значение предельно допускаемой гибкости для элементов верхних поясов ферм $\lambda_u = 180 - 60\alpha$ [2, табл. 32], где

$$\alpha = \frac{N}{AR_y \varphi \gamma_c} = \frac{590,4 \cdot 10^3}{39,38 \cdot 10^{-4} \cdot 0,617 \cdot 250 \cdot 10^6 \cdot 1} = 0,972.$$

Тогда $\lambda_u = 180 - 60 \cdot 0,972 = 122$ и $\lambda_{\max} = \lambda_x = 77,5 < 122$.

Фактическая гибкость сжатого элемента верхнего пояса не превышает предельно допустимой.

Примечание: в данном расчете допускается принимать $\alpha = 1$.

Окончательно принимаем сечение верхнего пояса в виде $2 \angle 125 \times 8$.

Подбор других сжатых элементов выполняется аналогично. При определении гибкости элементов решетки (кроме опорного раскоса) их расчетную длину в плоскости принимают равной геометрической длине, а расчетную длину из плоскости фермы принимают равной 0,8 от геометрической длины, так как в уголкового фермах узлы выполняются на фасонках. Для опорного раскоса расчетную длину в плоскости фермы при наличии подкоса принимают равной 0,4 геометрической длины, а расчетную длину из плоскости принимают равной геометрической. Результаты расчета остальных сжатых элементов, в том числе промежуточные, сведены в табл. 5.2.

Таблица 5.2

Расчет элементов фермы

Элемент фермы	Стержень	Усилие, кН	Сечение	$A, \text{см}^2$	$i_x/i_y, \text{см}$	$I_x/I_y, \text{см}$	λ_x/λ_y	$\lambda_{\text{н}}$	φ	γ_c	Сжатие $\frac{N}{A\varphi R_y \gamma_c} \leq 1$	Растяжение $\frac{N}{AR_y \gamma_c} \leq 1$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Верх- ний пояс	В1	−442,8	125×8	39,38	3,87	300	78	136	0,617	1,0	0,729	—
					5,46	300	55					
	В2	−442,8	125×8	39,38	3,87	300	78	136	0,617	1,0	0,729	—
					5,46	300	55					
	В3	−590,4	125×8	39,38	3,87	300	78	122	0,617	1,0	0,972	—
					5,46	300	55					
Ниж- ний пояс	Н1	+258,3	100×7	27,5	3,08	600	195	400	—	1,0	—	0,376
					4,45	600	135					
	Н2	+553,5	100×7	27,5	3,08	600	195	400	—	1,0	—	0,805
					4,45	1200	270					
Рас- косы	Р1	−365,3	110×8	34,4	3,39	213	63	134	0,549	1,0	0,774	—
					4,87	425	88					
	Р2	+261,3	70×5	13,72	2,15	340	160	400	—	1,0	—	0,762
					3,15	425	135					
Рас- косы	Р3	−156,5	100×7	27,5	3,08	340	110	178	0,425	0,8	0,536	—
					4,37	425	98					
	Р4	+52,4	75×6	17,56	2,30	340	150	400	—	1,0	—	0,119
					3,37	425	127					
Стойки	С1	−73,8	70×5	13,72	2,15	240	112	171	0,416	0,8	0,647	—
					3,15	300	95					
	С2	−73,8	70×5	13,72	3,15	240	77	184	0,507	0,8	0,424	—
					3,15	300	95					
Под- косы	Р0	0	70×5	6,86	1,41	190	135	200	—	1,0	—	—
					1,41	212	150					

Подбор растянутых элементов фермы

Элемент нижнего пояса Н2, $N = 553,5$ кН.

Предварительный подбор сечения выполняем из условия прочности [2, п. 7.1.1]:

$$\frac{N}{AR_y\gamma_c} \leq 1,$$

где $\gamma_c = 1$ [2, табл. 1, прим. 5]; R_y — расчетное сопротивление стали по пределу текучести для С255, принимаемое в предположении, что толщина проката менее 10 мм [2, табл. В5], $R_y = 250$ МПа.

$$A_{\text{тр}} = \frac{N}{R_y\gamma_c} = \frac{553,5 \cdot 10^3}{250 \cdot 10^6 \cdot 1} = 22,14 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2 = 22,14 \text{ см}^2.$$

По ГОСТ 8509–93 (табл. ПЗ.7) принимаем сечение нижнего пояса $2 \angle 100 \times 7$ (см. рис. 5.5, б) с $A = 27,5 \text{ см}^2$, $i_x = 3,08 \text{ см}$, $i_y = 4,45 \text{ см}$.

Проверяем условие прочности:

$$\frac{553,5 \cdot 10^3}{27,5 \cdot 10^{-4} \cdot 250 \cdot 10^6 \cdot 1} = 0,805 < 1.$$

Прочность элемента Н2 обеспечена.

Расчетная длина элементов нижнего пояса в плоскости фермы будет равна геометрической длине элементов: $l_{x,ef} = 6 \text{ м}$, а расчетную длину элементов из плоскости фермы примем равной расстоянию между точками крепления связей по нижним поясам ферм: $l_{y,ef} = 12 \text{ м}$ (рис. 5.6).

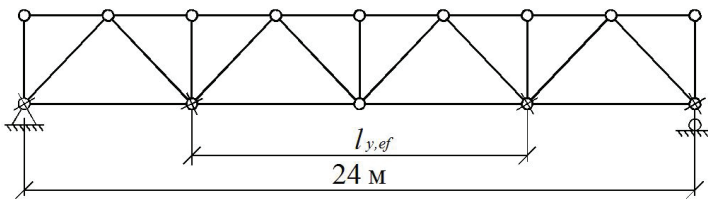


Рис. 5.6. Схема расположения точек крепления связей по нижнему поясу фермы:
× — точки крепления связей по нижнему поясу фермы

Находим фактические гибкости элемента нижнего пояса:

$$\lambda_x = \frac{l_{x,ef}}{i_x} = \frac{600}{3,08} = 194,8; \quad \lambda_y = \frac{l_{y,ef}}{i_y} = \frac{1200}{4,45} = 269,7.$$

Для любых растянутых элементов фактические значения гибкостей не должны превышать предельно допустимых значений $\lambda_{\text{max}} \leq \lambda_u$.

Находим значение предельно допускаемой гибкости для элементов верхних поясов ферм $\lambda_u = 400$ [2, табл. 33], тогда $\lambda_{\max} = \lambda_y = 269,7 < 400$. Фактическая гибкость растянутого элемента нижнего пояса не превышает предельно допустимой.

Окончательно принимаем сечение нижнего пояса в виде $2\angle 100 \times 7$.

Подбор других растянутых элементов выполняется аналогично. При определении гибкости элементов решетки их расчетную длину в плоскости принимают равной геометрической длине, а расчетную длину из плоскости фермы принимают равной 0,8 от геометрической длины, так как в уголкового фермах узлы выполняются на фасонках. Результаты расчета остальных растянутых элементов, в том числе промежуточные, сведены в табл. 5.2.

Пример 5.2

Подобрать сечение основных элементов фермы из гнуто-сварных профилей пролетом 24 м (рис. 5.7). Шаг ферм 6 м. Здание без фонарей. Кровля по прогонам, собственный вес кровельных слоев 2 кПа. Снеговая нагрузка для III снегового района. Верхний и нижний пояс фермы из стали С345. Решетка из стали С255.

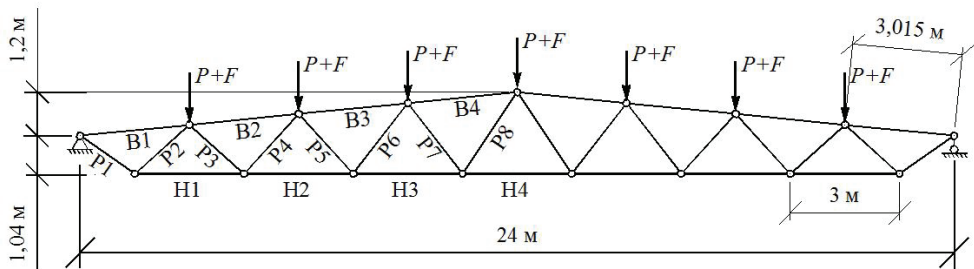


Рис. 5.7. Схема фермы

Решение

Определим расчетные нагрузки в узлах фермы:

- постоянная P :

$$P = gba = 2 \cdot 6 \cdot 3,015 = 36,2 \text{ кН},$$

где g — расчетная постоянная нагрузка на кровлю, $g = 2$ кПа; b — шаг ферм покрытия, $b = 6$ м; a — ширина панели верхнего пояса фермы (рис. 5.7), $a = 3,015$ м.

- снеговая F :

$$F = Sba = 2,10 \cdot 6 \cdot 3,015 = 38,0 \text{ кН},$$

где расчетное значение снеговой нагрузки $S = 2,1$ кПа взято из примера 2.2.

Расчетная схема фермы с усилиями от единичной нагрузки приведена на рис. 5.3. Расчетные усилия в стержнях фермы от постоянной и снеговой нагрузки в сумме нагрузки определим по табл. 5.3.

Таблица 5.3

Усилия в элементах фермы

Элемент фермы	Стержень	Усилие от единичной нагрузки n_1	Усилие от полной нагрузки $N = n_1(P + F)$, кН	Напряженное состояние
Верхний пояс	B1	–4,43	–328,7	Сжатие
	B2	–9,61	–713,1	Сжатие
	B3	–11,37	–843,7	Сжатие
	B4	–11,18	–829,6	Сжатие
Нижний пояс	H1	+7,84	+581,7	Растяжение
	H2	+10,98	+814,7	Растяжение
	H3	+11,60	+860,7	Растяжение
	H4	+10,71	+794,7	Растяжение
Раскосы	P1	+5,37	+398,5	Растяжение
	P2	–4,59	–340,6	Сжатие
	P3	+2,32	+172,1	Растяжение
	P4	–2,09	–155,1	Сжатие
	P5	+0,5	+37,1	Растяжение
	P6	–0,47	–34,9	Сжатие
	P7	–0,77	–57,1	Сжатие
	P8	+0,74	+54,9	Растяжение

Сечение элементов верхнего пояса фермы примем из прямоугольного гнуто-сварного замкнутого профиля, а сечение остальных элементов — из квадратного гнуто-сварного замкнутого профиля по ГОСТ 30245–2003 (табл. ПЗ.9 и ПЗ.10).

Для элементов поясов из стали С345 расчетное сопротивление стали по пределу текучести $R_y = 340$ МПа, а для элементов решетки из стали С255 — $R_y = 240$ МПа [2, табл. В3]. Коэффициенты условий работы принимаем по указаниям СП 16.13330.2017 [2, табл. 1]. По получен-

ным усилиям (табл. 5.3) подбираются сечения элементов фермы как для центрально-сжатых или центрально-растянутых стержней. Алгоритм расчета приведен в примере 6.1.

Для удобства расчет проведем в табличной форме (табл. 5.4). По соображениям унификации сечений элементов фермы сечение элементов верхнего и нижнего поясов принято одинаковым, а для раскосов подобрано два типа сечений.

Таблица 5.4

Расчет элементов фермы

Элемент фермы	Стержень	Усилие, кН	Сечение	$A, \text{см}^2$	$i_x/i_y, \text{см}$	$I_x/I_y, \text{см}$	λ_x/λ_y	λ_u	φ	γ_c	Сжатие $\frac{N}{A\varphi R_{\gamma_c}} \leq 1$	Растяжение $\frac{N}{AR_{\gamma_c}} \leq 1$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Верхний пояс	B1	−328,7	Гн. 180× 140×6	36,03	6,81	300	44	120	0,854	1,0	0,312	—
	B2	−713,1			5,61	301,5	53,7				0,678	—
	B3	−843,7									0,802	—
	B4	−829,6									0,789	—
Нижний пояс	H1	+581,7	Гн. 140×6	31,23	5,43	300	55,2	400	—	1,0	—	0,545
	H2	+814,7			5,43	1150	211,8				—	0,763
	H3	+860,7									—	0,806
	H4	+794,7									—	0,744
Раскосы	P1	+398,5	Гн. 120×5	22,36	4,66	165	35,3	400	—	1,0	—	0,738
					4,66	183	39,3					
	P2	−340,6	Гн. 120×5	22,36	4,66	181	38,8	150	0,932	0,8	0,846	—
					4,66	201	43,1					
	P3	+172,1	Гн. 100×3	11,41	3,94	181	45,9	400	—	1,0	—	0,625
					3,94	201	51,0					
	P4	−155,1	Гн. 100×3	11,41	3,94	200	50,8	150	0,886	0,8	0,794	—
					3,94	222	56,3					
	P5	+37,1	Гн. 100×3	11,41	3,94	200	50,8	400	—	1,0	—	0,135
					3,94	222	56,3					

Окончание табл. 5.4

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Раскосы	P6	−34,9	Гн. 100×3	11,41	3,94	221	56,1	150	0,861	0,8	0,184	—
					3,94	245	62,2					
	P7	−57,1	Гн. 100×3	11,41	3,94	221	56,1	150	0,861	0,8	0,301	—
					3,94	245	62,2					
	P8	+54,9	Гн. 100×3	11,41	3,94	243	61,7	400	—	1,0	—	0,199
					3,94	270	68,5					

В расчете гибкостей элементов фермы расчетные длины приняты согласно указаниям СП 16.13330.2017 [2, табл. 31 и 32]. Для верхнего пояса прогоны рассматриваем как связи, тогда $l_y = 3,015$. Схема крепления связей по нижнему поясу показана на рис. 5.8.

При вычислении предельных гибкостей принято $\alpha = 1$.

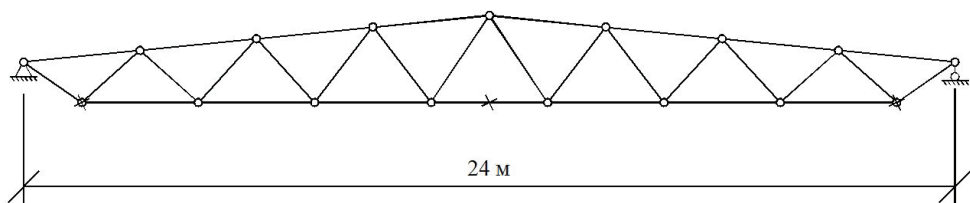


Рис. 5.8. Схема крепления связей по нижнему поясу фермы:

× — точки крепления связей

По результатам прочерчивания узлов фермы (рис. 5.9) осуществляем уточнение расчетной схемы, при этом исходим из условия максимального сближения носков раскосов между собой или между носком раскоса и опорным ребром или фланцем. Такое сближение не должно превышать 20 мм.

По результатам прочерчивания узлов определяем величины расцентровки e стержней решетки. При значениях расцентровок элементов в узлах $e/h \leq 0,25$, где h — высота сечения элемента пояса, или при значениях относительного эксцентриситета $m = \frac{MA}{NW} < 0,1$ проверка

устойчивости стержней производится как для центрально-сжатых [2]. В рассматриваемом примере значения расцентровок не превышают 12 мм ($e/h = 12/180 = 0,067 < 0,25$) для узлов сопряжения раскосов и верхнего пояса и 32 мм ($e/h = 32/140 = 0,229 < 0,25$) для узлов сопря-

жения раскосов и нижнего пояса фермы. Таким образом, значения расцентровок малы и их в расчете можно не учитывать.

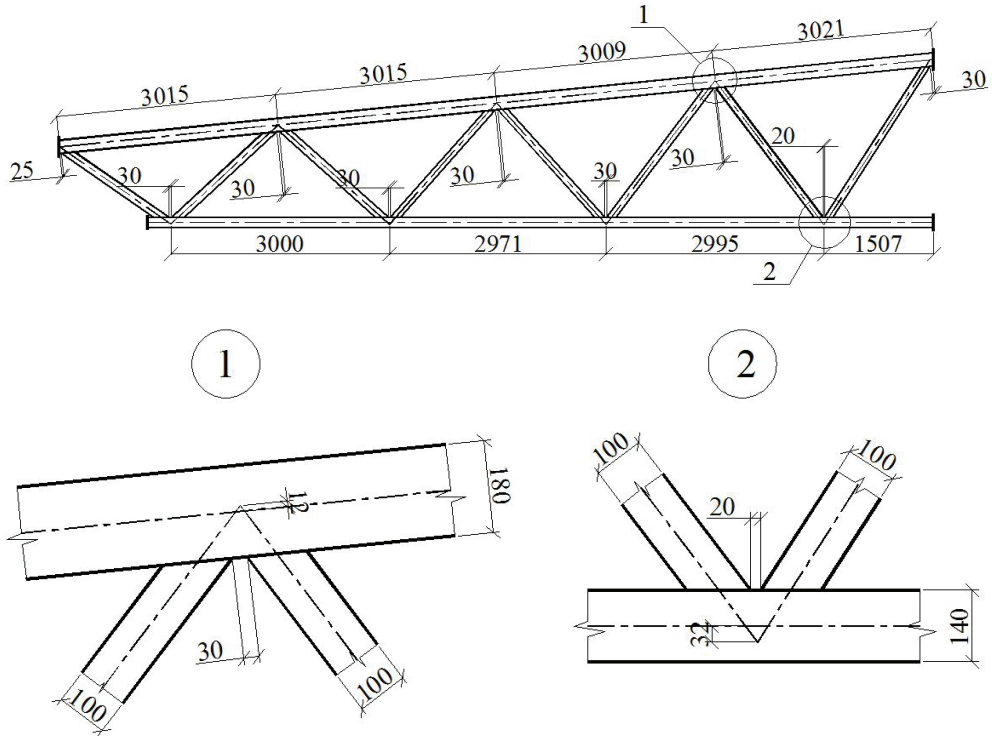


Рис. 5.9. Узлы фермы

Задание для самостоятельной работы

Подобрать и проверить сечения элементов фермы. Исходные данные принять по табл. 5.5.

Таблица 5.5

Исходные данные для расчета сплошной сжато-изгибаемой колонны

Номер варианта	Пролет фермы, м	Тип фермы	Сталь	Постоянная нагрузка, кПа	Район строительства
1	18	По рис. 5.2	C245	2,0	г. Екатеринбург
2	30	По рис. 5.3	C345	1,5	г. Казань
3	24	По рис. 5.2	C355	3,2	г. Астрахань

Окончание табл. 5.5

Номер варианта	Пролет фермы, м	Тип фермы	Сталь	Постоянная нагрузка, кПа	Район строительства
4	18	По рис. 5.3	С345	4,2	г. Пермь
5	30	По рис. 5.2	С345	2,5	г. Тюмень
6	18	По рис. 5.2	С245	1,8	г. Якутск
7	30	По рис. 5.3	С345	3,7	г. Уфа
8	24	По рис. 5.3	С255	3,0	г. Волгоград
9	36	По рис. 5.2	С255	2,1	г. Нижний Новгород
10	18	По рис. 5.3	С345	4,0	г. Челябинск
11	30	По рис. 5.2	С245	5,2	г. Самара
12	30	По рис. 5.3	С255	2,6	г. Чита

6. РАСЧЕТ СЖАТО-ИЗГИБАЕМЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

В стальных каркасах различного назначения, кроме центрально-сжатых колонн и стоек, широкое применение также находят элементы, подверженные действию осевой силы с изгибом. Колонны и другие сжато-изгибаемые элементы могут быть сплошного и сквозного сечения.

Сечение сплошных колонн (рис. 6.1, *а*) обычно проектируют в виде прокатного или сварного двутавра. Такое сечение позволяет наиболее просто осуществлять примыкание поддерживаемых конструкций.

В промышленных и гражданских зданиях при большой высоте этажа применяют колонны сквозного сечения (рис. 6.1, *б*). Стержень данной колонны состоит из ветвей и соединительных элементов, которые обеспечивают совместную работу ветвей. Такие стержни колонн при относительно небольшой площади поперечного сечения обладают большой жесткостью и, следовательно, более устойчивы, чем стержни сплошного сечения.

Для колонн зданий наиболее рациональны двухветвевые сечения. Сечения с тремя ветвями (рис. 6.1, *в*) могут быть эффективны для мачт, опор связи и других отдельно стоящих стоек. Четырехветвевые сечения применяются в основном для опор линий электропередач (рис. 6.1, *г*).

В сквозных колоннах необходимо обеспечить зазор между полками ветвей не менее 100–150 мм для возможности окраски внутренних поверхностей.

Сжато-изгибаемые элементы сплошного и сквозного сечения необходимо рассчитывать по предельным состояниям первой группы. Сюда относится расчет на общую устойчивость стержня колонны, расчеты на местную устойчивость элементов сварных сечений, а для колонн сквозного сечения — также расчет на общую устойчивость отдельных ветвей и расчет соединительных элементов на действие поперечной силы.

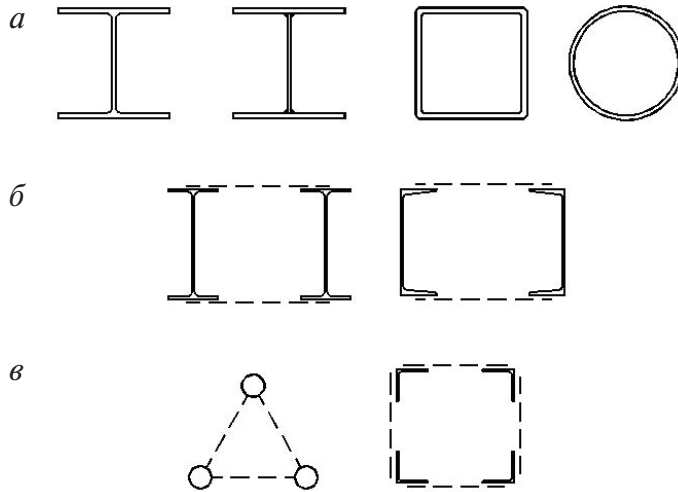


Рис. 6.1. Сечения колонн:

a — сплошные; *б* — сквозные двухветвевые; *в* — сквозные трех- и четырехветвевые

Порядок расчета

В большинстве случаев сжато-изгибаемые колонны входят в состав статически неопределимых рам и сооружений, поэтому статический расчет необходимо выполнять для рамы или сооружений в целом. Составление расчетных схем и сбор нагрузок выполняют по тем же самым принципам, что и для отдельных конструкций, а для определения внутренних усилий, как правило, используются расчетные комплексы, реже — методы строительной механики.

Конструктивный расчет включает в себя предварительный подбор сечения, а для сквозных сечений еще и подбор соединительных элементов и проверки подобранного сечения. Проверки подобранного сечения выполняются по указаниям СП 16.13330.2017 [2, раздел 9].

6.1. Сплошные сечения

Подбор сечения

Сплошное сечение сжато-изгибаемых колонн можно подбирать либо по условию устойчивости в плоскости действия момента

$$\frac{N}{A\varphi_e R_y \gamma_c} \leq 1,$$

в котором предварительно можно задать коэффициент $\varphi_e = 0,3 \dots 0,5$; либо по условию прочности Ясинского

$$\frac{N}{A\varphi} + \frac{M}{W_x} \leq R_y \gamma_c.$$

Из условия прочности, учитывая соотношение $\rho = W/A$, выражаем требуемую площадь поперечного сечения

$$A_{\text{тр}} = \frac{N}{R_y \gamma_c} \left(\frac{1}{\varphi} + \frac{e}{\rho} \right),$$

где φ — коэффициент продольного изгиба, принимаемый как при центральном сжатии в пределах $0,7-0,9$; e — эксцентриситет, $e = M/N$; ρ — ядровое расстояние (для сечения в форме двутавра $\rho \approx 0,3h$).

В этом случае ширину сечения колонны h нужно предварительно задавать по конструктивным или иным требованиям. Например, для верхней части ступенчатой колонны задается условие жесткости $l/h \leq 12$, где l — длина верхней части ступенчатой колонны.

Сечение обычно принимается из сварного или прокатного двутавра с параллельными полками по серии Ш или Б.

Проверки подобранного сечения

Сжато-изгибаемые колонны сплошного сечения проверяются только по предельным состояниям первой группы — на устойчивость в плоскости действия момента (рамы) и из плоскости действия момента, на местную устойчивость полки и стенки.

6.2. Сквозные сечения

Определение усилий в ветвях

Для расчета ветви сквозного сечения колонны выбирается сочетание усилий, при котором в ветви возникает максимальная сжима-

ющая сила. Для левой и правой ветвей сечения эти сочетания усилий будут разными (рис. 6.2).

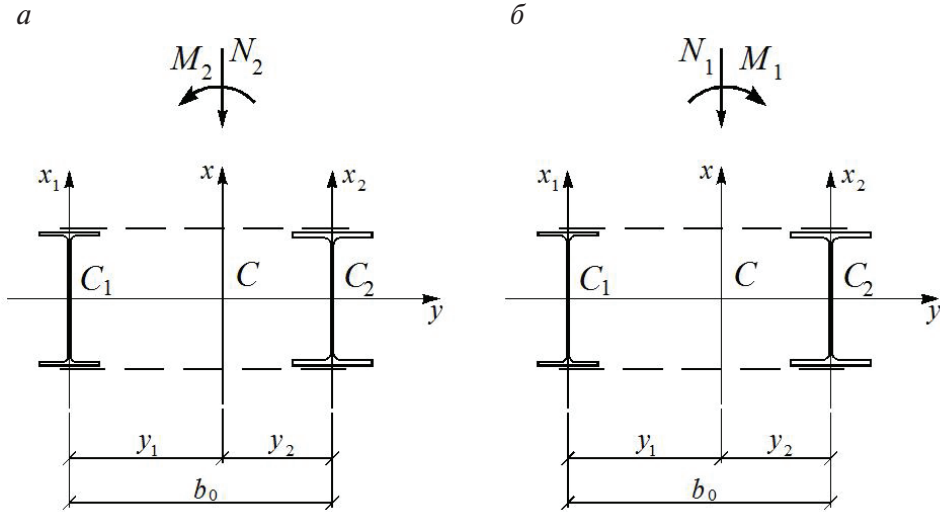


Рис. 6.2. Схема сквозного сечения:

a — с внутренними усилиями, догружающими левую ветвь сечения;
б — с внутренними усилиями, догружающими правую ветвь сечения

Усилие в левой ветви:

$$N_{\text{лв}} = \frac{N_2 y_2}{b_0} + \frac{M_2}{b_0};$$

усилие в правой ветви:

$$N_{\text{пв}} = \frac{N_1 y_1}{b_0} + \frac{M_1}{b_0},$$

здесь b_0 — расстояние между центрами тяжести ветвей.

При подборе сечения, когда положение центра тяжести сечения еще не определено, усилия в ветвях определяются по приближенным формулам

$$N_{\text{лв}} = \frac{N_2}{2} + \frac{M_2}{b}; \quad N_{\text{пв}} = \frac{N_1}{2} + \frac{M_1}{b}.$$

Для наружных колонн промышленных зданий в формулу подставляют ширину сечения b , а для остальных колонн ширина сечения, как правило, совпадает с расстоянием между центрами тяжести ветвей (рис. 6.3)

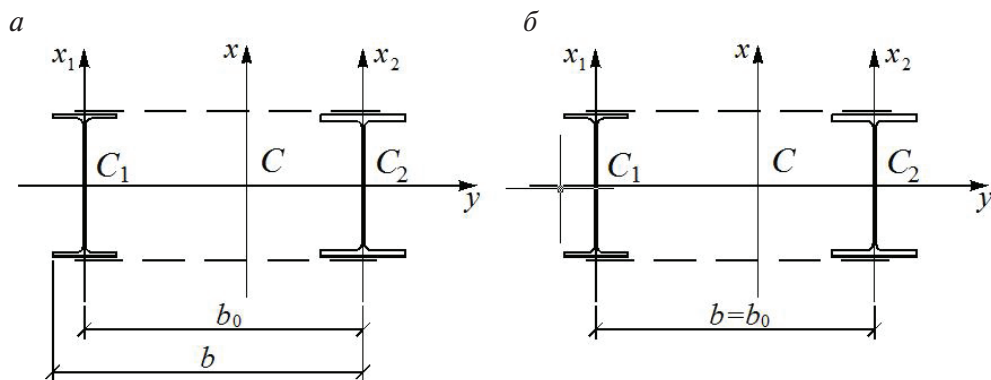


Рис. 6.3. Сечения крайней и средней колонн промздания:

a — крайней левой колонны; b — средней колонны

Подбор сечения ветвей

Ветви в сквозном сечении считаются центрально-сжатыми и их сечение подбирается из условия устойчивости для центрально-сжатого элемента. Поскольку усилия в ветвях получаются разными, то и требуемые площади сечения тоже оказываются разными. Если разница в требуемых площадях сечения ветвей превышает 20 %, то сечения ветвей рекомендуют подбирать разными по площади, но одинаковой высоты, например для более нагруженной ветви сечение принимается из двутавра с параллельными полками по серии Ш, а для менее нагруженной — по серии Б.

Компоновка и подбор сечения соединительных элементов

Для обеспечения совместной работы ветвей используют соединительные элементы. Для сжато-изгибаемых колонн, как правило, используют решетку. Сечение отдельных элементов решетки подбирается по предельной гибкости или из условия устойчивости. Максимальное сжимающее усилие в элементе решетки принимается по указаниям СП 16.13330.2017 [2, п. 9.3.7 и п. 7.2.7].

Проверки выбранного сечения

Сжато-изгибаемые колонны сквозного сечения проверяются только по предельным состояниям первой группы — на устойчивость отдельных ветвей в плоскости рамы и из плоскости рамы и на общую устойчивость сечения в целом [2, раздел 9].

Примеры расчета сжато-изгибаемых колонн

Пример 6.1

Подобрать и проверить прокатное сечение сжато-изогнутой колонны. Расчетное сочетание усилий $N = 1142,6$ кН, $M = 367,5$ кНм, расчетные длины $l_{x,ef} = 7,1$ м и $l_{y,ef} = 4,97$ м. Сталь С255.

Решение

Сечение подберем из условия устойчивости в плоскости действия момента

$$\frac{N}{A\varphi_e R_y \gamma_c} \leq 1,$$

где R_y — расчетное сопротивление стали С345 [2, табл. В4], $R_y = 32$ кН/м²; предварительно принимаем коэффициент $\varphi_e = 0,4$.

$$A_{np} = \frac{N}{R_y \gamma_c \varphi_e} = \frac{1142,6}{32 \cdot 1 \cdot 0,4} = 89,3 \text{ см}^2.$$

По ГОСТ 57387–2017 [7] подбираем двутавр 25К2 со следующими геометрическими характеристиками: $A = 92,18$ см², $W_x = 866,6$ см³, $W_y = 291,9$ см³, $i_x = 10,84$ см, $i_y = 6,29$ см, $h = 250$ мм, $b = 250$ мм, $t_f = 14$ мм, $t_w = 9$ мм (табл. П3.4).

Вычисляем гибкости колонны в плоскости и из плоскости действия момента

$$\lambda_x = \frac{l_{x,ef}}{i_x} = \frac{710}{10,84} = 65,5 \text{ и } \lambda_y = \frac{l_{y,ef}}{i_y} = \frac{497}{6,29} = 79,0.$$

Затем находим условные гибкости:

$$\bar{\lambda}_x = \lambda_x \sqrt{\frac{R_y}{E}} = 65,5 \sqrt{\frac{320}{2,06 \cdot 10^5}} = 2,58 \text{ и } \bar{\lambda}_y = \lambda_y \sqrt{\frac{R_y}{E}} = 79 \sqrt{\frac{320}{2,06 \cdot 10^5}} = 3,11.$$

Условие устойчивости в плоскости действия момента

$$\frac{N}{A\varphi_e R_y \gamma_c} \leq 1,$$

где φ_e — коэффициент, учитывающий снижение несущей способности при потере устойчивости внецентренно сжатой колонны и принимаемый в зависимости от $\bar{\lambda}_x$ и m_{ef} .

Находим относительный эксцентриситет

$$m = \frac{e}{\rho} = \frac{MA}{NW_x} = \frac{36\,750 \text{ кН} \cdot \text{см} \cdot 92,18 \text{ см}^2}{1142,6 \text{ кН} \cdot 866,6 \text{ см}^3} = 3,42.$$

При

$$\frac{A_f}{A_w} = \frac{t_f b}{t_w h_w} = \frac{14 \cdot 250}{9 \cdot (250 - 2 \cdot 14)} = 1,75 > 1$$

находим коэффициент влияния формы сечения [2, табл. Д2, п. 5]

$$\begin{aligned} \eta &= (1,90 - 0,1m) - 0,02 \cdot (6 - m) \bar{\lambda} = \\ &= (1,90 - 0,1 \cdot 3,42) - 0,02 \cdot (6 - 3,42) \cdot 2,58 = 1,42. \end{aligned}$$

Вычисляем приведенный относительный эксцентриситет:

$$m_{ef} = m\eta = 3,42 \cdot 1,42 = 4,86.$$

При $m_{ef} = 4,86$ и $\bar{\lambda}_x = 2,58$ двойной интерполяцией находим коэффициент $\varphi_e = 0,205$ [2, табл. Д3].

Проверяем условие устойчивости в плоскости действия момента:

$$\frac{1142,6}{92,18 \cdot 0,205 \cdot 32 \cdot 1} = 1,89 > 1.$$

Устойчивость не обеспечена, поэтому по ГОСТ 57387–2017 [7] подбираем двутавр 35К1 со следующими геометрическими характеристиками: $A = 139,03 \text{ см}^2$, $W_x = 2302,6 \text{ см}^3$, $W_y = 776,3 \text{ см}^3$, $i_x = 14,99 \text{ см}$, $i_y = 8,71 \text{ см}$, $h = 342 \text{ мм}$, $b = 3480 \text{ мм}$, $t_f = 19 \text{ мм}$, $t_w = 14 \text{ мм}$ (табл. ПЗ.4).

Вычисляем гибкости колонны в плоскости и из плоскости действия момента:

$$\lambda_x = \frac{l_{x,ef}}{i_x} = \frac{710}{14,99} = 47,4 \text{ и } \lambda_y = \frac{l_{y,ef}}{i_y} = \frac{497}{8,71} = 57,1.$$

Затем находим условные гибкости:

$$\bar{\lambda}_x = \lambda_x \sqrt{\frac{R_y}{E}} = 47,4 \sqrt{\frac{320}{2,06 \cdot 10^5}} = 1,87 \text{ и } \bar{\lambda}_y = \lambda_y \sqrt{\frac{R_y}{E}} = 57,1 \sqrt{\frac{320}{2,06 \cdot 10^5}} = 2,25.$$

Находим относительный эксцентриситет:

$$m = \frac{e}{\rho} = \frac{MA}{NW_x} = \frac{36\,750 \text{ кН} \cdot \text{см} \cdot 139,03 \text{ см}^2}{1\,142,6 \text{ кН} \cdot 2\,302,6 \text{ см}^3} = 1,94.$$

При

$$\frac{A_f}{A_w} = \frac{t_f b}{t_w h_w} = \frac{19 \cdot 348}{14 \cdot (342 - 2 \cdot 19)} = 1,55 > 1$$

находим коэффициент влияния формы сечения [2, табл. Д2, п. 5]

$$\begin{aligned} \eta &= (1,90 - 0,1m) - 0,02 \cdot (6 - m) \bar{\lambda} = \\ &= (1,90 - 0,1 \cdot 1,94) - 0,02 \cdot (6 - 1,94) \cdot 1,87 = 1,55. \end{aligned}$$

Вычисляем приведенный относительный эксцентриситет

$$m_{ef} = m\eta = 1,87 \cdot 1,55 = 2,90.$$

При $m_{ef} = 2,90$ и $\bar{\lambda}_x = 1,87$ с помощью двойной интерполяции находим коэффициент $\varphi_e = 0,331$ [2, табл. Д3].

Проверяем условие устойчивости в плоскости действия момента:

$$\frac{1\,142,6}{139,03 \cdot 0,331 \cdot 32 \cdot 1} = 0,775 < 1.$$

Устойчивость в плоскости действия момента обеспечена.

Условие устойчивости из плоскости действия момента

$$\frac{N}{A_{\varphi c} R_{y \gamma_c}} \leq 1.$$

При $\bar{\lambda}_y = 2,25$ находим коэффициент продольного изгиба, как при центральном сжатии: $\varphi = 0,785$ [2, табл. 7 и Д1].

При расчете на устойчивость из плоскости действия момента согласно СП 16.13330.2017 за расчетный момент M_x принимаем максимальный момент в пределах средней трети длины стержня [2, п. 9.2.6], то есть $M_x = 2 \cdot 367,5/3 = 245,0$ кНм, и тогда относительный эксцентриситет

$$m = \frac{e}{\rho} = \frac{MA}{NW_x} = \frac{24\,500 \text{ кН} \cdot \text{см} \cdot 139,03 \text{ см}^2}{1\,142,6 \text{ кН} \cdot 2\,302,6 \text{ см}^3} = 1,29.$$

Согласно указаниям СП 16.13330.2017 при $m = 1,29$ вычисляем коэффициент c [2, п. 9.2.5]:

$$c = \frac{\beta}{1 + \alpha m_x}.$$

Здесь $m_x = m = 1,29$; по [2, табл. 21] находим $\beta = 1$, а также

$$\alpha = 0,65 + 0,05m_x = 0,65 + 0,05 \cdot 1,29 = 0,715.$$

Тогда

$$c = \frac{1}{1 + 0,715 \cdot 1,29} = 0,520.$$

Проверяем условие устойчивости из плоскости действия момента

$$\frac{1142,6}{139,03 \cdot 0,875 \cdot 0,520 \cdot 32 \cdot 1} = 0,564 < 1.$$

Устойчивость из плоскости действия момента обеспечена.

Условие прочности

$$\left(\frac{N}{A_n R_y \gamma_c} \right)^n + \frac{M_x}{c_x W_x R_y \gamma_c} \leq 1.$$

При

$$\frac{A_f}{A_w} = \frac{t_f b}{t_w h_w} = \frac{19 \cdot 348}{14 \cdot (342 - 2 \cdot 19)} = 1,55 > 1$$

находим $n = 1,5$ и $c_x = 1,054$ [2, табл. Е1].

Проверяем условие прочности:

$$\left(\frac{1142,6}{139,03 \cdot 32 \cdot 1} \right)^{1,5} + \frac{36750}{1,054 \cdot 2302,6 \cdot 32 \cdot 1} = 0,130 + 0,473 = 0,603 < 1.$$

Прочность обеспечена.

Примечание. Так как в данном случае $m_{ef} = 2,90 < 20$, ослабление сечения отсутствует, то расчет на прочность допускается не производить [2, п. 9.1.2].

Для любых сжатых и сжато-изгибаемых элементов фактические значения гибкостей не должны превышать предельно допустимых значений $\lambda_{\max} \leq \lambda_u$. Находим значение предельно допустимой гибкости для основных колонн каркаса $\lambda_u = 180 - 60\alpha$ [2, табл. 32], где

$$\alpha = \frac{N}{A R_y \gamma_c} = \frac{1142,6}{139,03 \cdot 32 \cdot 0,331 \cdot 1} = 0,776.$$

Тогда $\lambda_u = 180 - 60 \cdot 0,776 = 133$ и $\lambda_{\max} = \lambda_y = 57,1 < 133$.

Фактическая гибкость колонны не превышает предельно допустимой для основной колонны каркаса.

Окончательно принимаем сечение колонны в виде двутавра 35К1 по ГОСТ 57387–2017.

Пример 6.2

Подобрать и проверить сквозное сечение нижней части крайней колонны одноэтажного промышленного здания (рис. 6.4). Материал колонны — сталь С345, расчетные длины нижней части колонны в плоскости рамы и из плоскости рамы соответственно $l_{x,ef} = 30,52$ м и $l_{y,ef} = 17,33$ м. Сочетание усилий, догружающее подкрановую ветвь, — $N_1 = 3216,8$ кН, $M_1 = 1447,8$ кНм; догружающее наружную ветвь — $N_2 = 3216,8$ кН, $M_2 = -898,7$ кНм; максимальная поперечная сила $Q_{\max} = 128,1$ кН; ширина сечения $b = 1250$ мм.

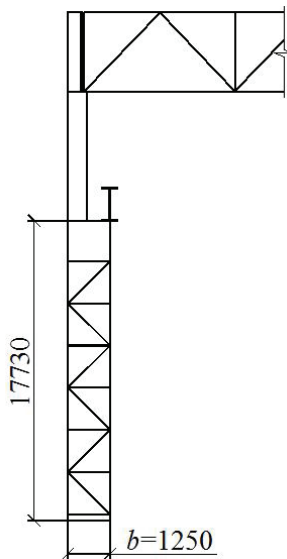


Рис. 6.4. Поперечная рама одноэтажного промышленного здания

Решение

Определим усилия в ветвях колонны. Усилие в подкрановой ветви:

$$N_{пв} = \frac{N_1}{2} + \frac{M_1}{b} = \frac{3216,8}{2} + \frac{1447,8}{1,5} = 1608,4 + 965,2 = 2573,6 \text{ кН};$$

усилие в наружной ветви:

$$N_{\text{нв}} = \frac{N_2}{2} + \frac{M_2}{b} = \frac{3\,216,8}{2} + \frac{898,7}{1,5} = 1\,608,4 + 599,1 = 2\,207,5 \text{ кН.}$$

Сечения ветвей подбираем: предполагаем, что ветви работают как центрально-сжатые элементы. Тогда из условия устойчивости находится требуемая площадь сечений подкрановой и наружной ветвей соответственно [2, п. 7.1.3]

$$A_{\text{пв}} = \frac{N_{\text{пв}}}{R_y \gamma_c \varphi} \text{ и } A_{\text{нв}} = \frac{N_{\text{нв}}}{R_y \gamma_c \varphi},$$

где γ_c — коэффициент условий работы [2 табл. 1, п. 3], $\gamma_c = 1,05$; R_y — расчетное сопротивление стали по пределу текучести для С345, принимаемое в предположении, что толщина проката не более 20 мм [2, табл. В4], $R_y = 320$ МПа; коэффициент продольного изгиба предварительно принимаем $\varphi = 0,8$.

$$A_{\text{пв}} = \frac{N_{\text{пв}}}{R_y \gamma_c \varphi} = \frac{2\,573,6 \cdot 10^3}{320 \cdot 10^6 \cdot 1 \cdot 0,8} = 100,5 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2 = 100,5 \text{ см}^2;$$

$$A_{\text{нв}} = \frac{N_{\text{нв}}}{R_y \gamma_c \varphi} = \frac{2\,207,5 \cdot 10^3}{320 \cdot 10^6 \cdot 1 \cdot 0,8} = 86,2 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2 = 86,2 \text{ см}^2.$$

Разница в требуемых площадях составляет:

$$\frac{100,5 - 86,2}{100,5} \cdot 100\% = 14\% < 20\%,$$

поэтому принимаем сечения ветвей одинаковыми. По ГОСТ 57387–2017 [7] подбираем двутавр 50Б2 со следующими геометрическими характеристиками: $A = 101,27 \text{ см}^2$, $I_x = 41872 \text{ см}^4$, $I_y = 1844,4 \text{ см}^4$, $b_f = 199 \text{ мм}$, $i_x = 20,33 \text{ см}$, $i_y = 4,27 \text{ см}$ (табл. ПЗ.2).

Определяем фактическое положение центра тяжести сечения нижней части колонны (рис. 6.5):

$$b_0 = b - 0,5b_f = 1\,500 - 0,5 \cdot 199 = 1\,400 \text{ мм}; \quad y_1 = y_2 = \frac{b_0}{2} = \frac{1\,400}{2} = 700 \text{ мм.}$$

Усилие в подкрановой ветви:

$$N_{\text{пв}} = \frac{N_1 y_1}{b_0} + \frac{M_1}{b_0} = \frac{N_1}{2} + \frac{M_1}{b_0} = \frac{3\,216,8}{2} + \frac{1\,447,8}{1,4} = 1\,608,4 + 1\,034,1 = 2\,642,5 \text{ кН};$$

усилие в наружной ветви:

$$N_{\text{нв}} = \frac{N_2 y_2}{b_0} + \frac{M_2}{b_0} = \frac{N_2}{2} + \frac{M_2}{b_0} = \frac{3\,216,8}{2} + \frac{898,7}{1,4} = 1\,608,4 + 641,9 = 2\,250,3 \text{ кН.}$$

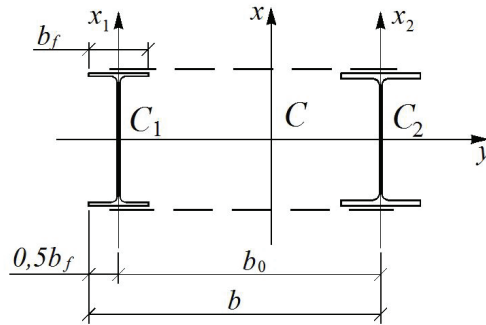


Рис. 6.5. Схема к определению положения центра тяжести

Выполним компоновку соединительных элементов в виде решетки из уголков (рис. 6.6). Принимаем высоту траверсы $h_{\text{тр}} = 1\,000$ мм, из диапазона $(0,6 \dots 0,8)b = 900 \dots 1\,200$ мм. Тогда решетка располагается на длине: $17\,330 - 1\,000 - 130 = 16\,200$ мм,

$$l = \frac{16\,200}{12} = 1\,350 \text{ мм.}$$

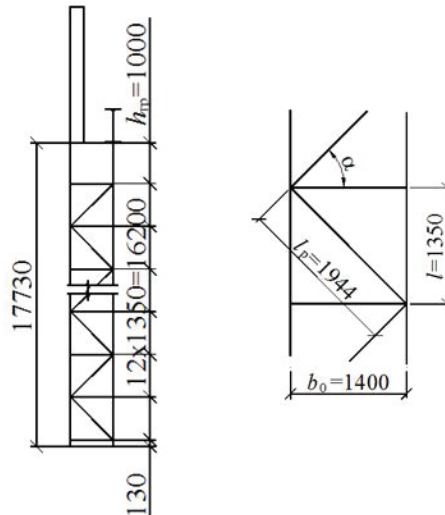


Рис. 6.6. Схема решетки

Отсюда длина раскоса рассчитывается так:

$$l_p = \sqrt{b_0^2 + l^2} = \sqrt{1400^2 + 1350^2} = 1944 \text{ мм},$$

угол наклона раскоса так:

$$\alpha = \operatorname{arctg} \frac{l}{b_0} = \operatorname{arctg} \frac{1350}{1400} = 44,0^\circ.$$

Находим усилие в раскосе:

$$N_p = \frac{Q}{2\cos\alpha} = \frac{128,1}{2\cos 44^\circ} = 89 \text{ кН}.$$

Принимаем $Q = Q_{\max} = 128,1 \text{ кН}$.

Площадь сечения раскоса подбираем из одиночного уголка по формуле

$$A_p = \frac{N_p}{R_y \gamma_c \varphi},$$

где предварительно принимаем $\varphi = 0,4$; $\gamma_c = 0,75$ так же, как для уголка, прикрепляемого одной полкой [2, табл. 1, п. 8]:

$$A_p = \frac{89,0 \cdot 10^3}{320 \cdot 10^6 \cdot 0,75 \cdot 0,4} = 9,28 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2 = 9,28 \text{ см}^2.$$

По ГОСТ 8509–93 (табл. ПЗ.7) подбираем уголок $\angle 90 \times 6$ с $A = 10,61 \text{ см}^2$ и $i_{\min} = 1,79 \text{ см}$. Определяем фактическую гибкость раскоса:

$$\lambda_p = \frac{l_p}{i_{\min}} = \frac{194,4}{1,79} = 109,$$

тогда

$$\bar{\lambda} = \lambda_p \sqrt{\frac{R_y}{E}} = 109 \sqrt{\frac{320}{2,06 \cdot 10^5}} = 4,29.$$

Для типа сечения c находим коэффициент $\varphi = 0,365$ [2, табл. 7 и Д1].

Проверяем сечение раскоса по условию устойчивости:

$$\frac{N_p}{R_y \gamma_c \varphi A_p} = \frac{89}{32 \cdot 0,75 \cdot 0,365 \cdot 10,61} = 0,958 < 1.$$

Устойчивость раскоса решетки обеспечена.

Для элементов решетки колонн фактические значения гибкостей не должны превышать предельно допустимых значений: $\lambda_p \leq \lambda_u$. На-

ходим значение предельно допускаемой гибкости для элемента решетки колонны: $\lambda_u = 210 - 60\alpha$ [2, табл. 32], где

$$\alpha = \frac{N_p}{R_y \gamma_c \phi A_p} = \frac{89}{32 \cdot 0,75 \cdot 0,365 \cdot 10,61} = 0,958.$$

Тогда $\lambda_u = 210 - 60 \cdot 0,958 = 153$ и $\lambda_p = 109 < 153$.

Окончательно принимаем решетку нижней части колонны из уголков 90×6 по ГОСТ 8509–93.

Поскольку ветви подобраны одинакового сечения, то достаточно проверить более нагруженную ветвь.

Для отдельной ветви расчетная длина в плоскости равна расстоянию между узлами решетки, то есть $l_{b,x} = l$, а расчетная длина из плоскости для ветви совпадает с расчетной длиной нижней части колонны $l_{b,y} = l_{y,ef}$.

Находим гибкости подкрановой ветви в плоскости и из плоскости рамы:

$$\lambda_x = \frac{l}{i_x} = \frac{135,0}{4,27} = 31,6 \text{ и } \lambda_y = \frac{l_{y,ef}}{i_y} = \frac{1733}{20,33} = 85,2,$$

затем находим условные гибкости:

$$\bar{\lambda}_x = \lambda_x \sqrt{\frac{R_y}{E}} = 31,6 \sqrt{\frac{320}{2,06 \cdot 10^5}} = 1,25 \text{ и } \bar{\lambda}_y = \lambda_y \sqrt{\frac{R_y}{E}} = 85,2 \sqrt{\frac{320}{2,06 \cdot 10^5}} = 3,36.$$

При $\bar{\lambda}_x = 1,25$ находим $\phi = 0,922$ [2, табл. 7 и Д1] и проверяем условие устойчивости в плоскости рамы:

$$\frac{N_{пв}}{A_{пв} \phi R_y \gamma_c} = \frac{2642,5 \cdot 10^3}{101,27 \cdot 10^{-4} \cdot 0,922 \cdot 320 \cdot 10^6 \cdot 1} = 0,884 < 1.$$

Устойчивость подкрановой ветви в плоскости рамы обеспечена.

При $\bar{\lambda}_y = 3,36$ находим $\phi = 0,568$ [2, табл. 7 и Д1] и проверяем условие устойчивости в плоскости рамы:

$$\frac{N_{пв}}{A_{пв} \phi R_y \gamma_c} = \frac{2642,5 \cdot 10^3}{101,27 \cdot 10^{-4} \cdot 0,568 \cdot 320 \cdot 10^6 \cdot 1} = 1,44 > 1.$$

Устойчивость подкрановой ветви в плоскости рамы не обеспечена.

Для уменьшения расчетной длины ветви и колонны в целом из плоскости рамы ставим распорки по ряду колонн по середине высоты нижней части колонны, тогда $l_{b,y} = l_{y,ef} = 17,33/2 = 8,665 \text{ м};$

$$\lambda_y = \frac{l_{y,ef}}{i_y} = \frac{8,665 \cdot 10^2}{20,33} = 42,6 \text{ и } \bar{\lambda}_y = \lambda_y \sqrt{\frac{R_y}{E}} = 42,6 \sqrt{\frac{320}{2,06 \cdot 10^5}} = 1,68.$$

При $\bar{\lambda}_y = 1,68$ находим $\varphi = 0,875$ [2, табл. 7 и Д1] и проверяем условие устойчивости в плоскости рамы:

$$\frac{N_{пв}}{A_{пв} \varphi R_y \gamma_c} = \frac{2\,642,5 \cdot 10^3}{101,27 \cdot 10^{-4} \cdot 0,875 \cdot 320 \cdot 10^6 \cdot 1} = 0,932 < 1.$$

Устойчивость подкрановой ветви в плоскости рамы обеспечена.

Вычисляем для сквозного сечения момент инерции относительно свободной оси x :

$$I_x = 2(I_{x1} + A_{в1} y_1^2) = 2(1\,844,4 + 101,27 \cdot 70^2) = 996\,134,8 \text{ см}^4,$$

и радиус инерции относительно свободной оси x :

$$i_x = \sqrt{\frac{I_x}{A}} = \sqrt{\frac{996\,134,8}{202,54}} = 70,13 \text{ см.}$$

Находим гибкость сквозного сечения относительно свободной оси без учета податливости решетки:

$$\lambda_x = \frac{l_{x,ef}}{i_x} = \frac{3\,052}{70,13} = 43,52.$$

Определяем приведенную гибкость сквозного сечения:

$$\lambda_{ef} = \sqrt{\lambda_x^2 + \alpha \frac{A}{A_d}} = \sqrt{43,52^2 + 27,76 \cdot \frac{202,54}{10,61}} = 49,23,$$

здесь коэффициент α , учитывающий геометрию решетки [2, табл. 8, п. 1], вычисляется по формуле

$$\alpha = 10 \frac{l_p^3}{b_0^2 l} = 10 \cdot \frac{1\,944^3}{1\,400^2 \cdot 1\,350} = 27,76.$$

Находим условную приведенную гибкость

$$\bar{\lambda}_{ef} = \lambda_{ef} \sqrt{\frac{R_y}{E}} = 49,23 \sqrt{\frac{320}{2,06 \cdot 10^5}} = 1,94.$$

Вычисляем приведенный эксцентриситет:

$$m = \frac{e}{\rho} = \frac{MA y_1}{NI_x} = \frac{1\,447,8 \cdot 205,6 \cdot 10^{-4} \cdot 0,7}{3\,216,8 \cdot 101\,1186 \cdot 10^{-8}} = 0,64.$$

При $\bar{\lambda}_{ef} = 1,94$ и $m = 0,64$ находим коэффициент $\varphi_e = 0,506$ [2, табл. Д4] и проверяем условие устойчивости в плоскости действия момента:

$$\frac{N_1}{A\varphi_e R_y \gamma_c} = \frac{1447,8 \cdot 10^3}{205,6 \cdot 10^{-4} \cdot 0,506 \cdot 320 \cdot 10^6 \cdot 1} = 0,435 < 1.$$

Устойчивость сквозного сечения в целом из плоскости действия момента обеспечена, так как обеспечена устойчивость отдельных ветвей.

По указаниям СП 16.13330.2017 вычисляем условную поперечную силу Q_{fic} [2, п. 9.3.7 и 7.2.7]:

$$\begin{aligned} Q_{fic} &= 7,15 \cdot 10^{-6} \cdot \left(2300 - \frac{E}{R_y} \right) \frac{N}{\varphi_e} = \\ &= 7,15 \cdot 10^{-6} \cdot \left(2300 - \frac{2,06 \cdot 10^5}{320} \right) \frac{1447,8}{0,506} = 33,9 \text{ кН}. \\ Q_{fic} &= 33,9 \text{ кН} < Q_{\max} = 128,1 \text{ кН}, \end{aligned}$$

следовательно, выполнять перерасчет решетки не требуется.

Для любых сжатых и сжато-изгибаемых элементов фактические значения гибкостей не должны превышать предельно допустимых значений:

$$\lambda_{\max} \leq \lambda_u.$$

Находим значение предельно допускаемой гибкости для основных колонн каркаса $\lambda_u = 180 - 60\alpha$ [2, табл. 32], где

$$\alpha = \frac{N_1}{A\varphi_e R_y \gamma_c} = \frac{1447,8 \cdot 10^3}{205,6 \cdot 10^{-4} \cdot 0,506 \cdot 320 \cdot 10^6 \cdot 1} = 0,435 < 0,5.$$

Следовательно, принимаем $\alpha = 0,5$. Тогда

$$\lambda_u = 180 - 60 \cdot 0,5 = 150 \text{ и } \lambda_{\max} = \lambda_y = 85,4 < 150.$$

Фактическая гибкость колонны не превышает предельно допустимой для основной колонны каркаса.

Задания для самостоятельной работы

Задание 6.1

Подобрать и проверить прокатное двутавровое сечение сжато-изгибаемой колонны гражданского здания. Исходные данные принять по табл. 6.1.

Таблица 6.1

Исходные данные для расчета сплошной сжато-изгибаемой колонны

Номер варианта	Расчетная длина $l_{x, ef}$, м	Расчетная длина $l_{y, ef}$, м	Сталь	Продольная сила N , кН	Изгибающий момент M , кН·м
1	6	7	C245	1200	120
2	7	5	C345	2800	400
3	6	6	C355	1900	370
4	7	7	C345	1750	810
5	8	8	C345	900	145
6	6	4,5	C245	2100	250
7	5	5,5	C345	500	95
8	8	6,5	C255	1700	420
9	7,5	7,5	C255	640	125
10	6	5	C345	1340	225
11	6	6	C245	1680	475
12	5	6	C255	470	120

Задание 6.2

Подобрать и проверить сквозное сечение колонны одноэтажного промышленного здания. Исходные данные принять по табл. 6.2.

Таблица 6.2

Исходные данные для расчета сквозной сжато-изгибаемой колонны

Номер варианта	Расчетная длина колонны в целом, м		Вид колонны и ширина сечения b , мм	Сталь	Внутренние усилия		
	$l_{x, ef}$	$l_{y, ef}$			N_1 , кН; M_1 , кН·м	N_2 , кН; M_2 , кН·м	Q , кН
1	21,2	12,9	Крайняя 1000	C245	2200; 720	2200; 820	56
2	21,8	14,8	Крайняя 1250	C345	2800; 1530	2840; 530	85

Окончание табл. 6.2

Номер варианта	Расчетная длина ко- лонны в целом, м		Вид колон- ны и шири- на сечения b , мм	Сталь	Внутренние усилия		
	$l_{x,ef}$	$l_{y,ef}$			N_1 , кН; M_1 , кН·м	N_2 , кН; M_2 , кН·м	Q , кН
3	25,6	16,7	Крайняя 1250	C355	1900; 1210	1900; 610	78
4	30,2	18,1	Крайняя 1500	C345	1750; 890	1720; 735	73
5	20,4	10,5	Крайняя 1500	C345	1400; 650	1400; 315	92
6	16,3	12,6	Средняя 1500	C245	2100; 1460	1850; 820	120
7	25,3	14,9	Средняя 2000	C345	3500; 1870	3400; 1370	150
8	19,2	16,4	Средняя 2500	C255	1700; 1560	1680; 1240	145
9	30,1	18,5	Средняя 3000	C255	2640; 820	2600; 460	215
10	22,8	10,8	Средняя 1500	C345	2340; 1140	2300; 1020	94
11	30,4	13,5	Крайняя 1000	C245	900; 450	890; 600	68
12	34,2	15,5	Средняя 1500	C255	2470; 1000	2470; 850	95

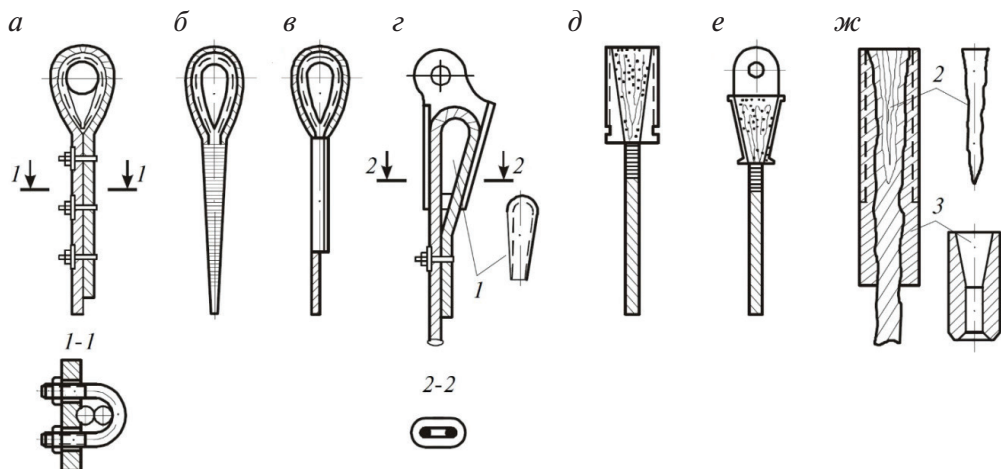
7. РАСЧЕТ СТАЛЬНЫХ КАНАТОВ

Канаты используются в элементах конструкций, воспринимающих исключительно растягивающие усилия. При этом не требуется увеличение сечений по условиям устойчивости, что создает возможность эффективного применения сталей высокой прочности с полным использованием несущей способности материала, со снижением расхода металла и уменьшением собственного веса конструкции. Вместе с тем из-за малого диаметра элементов, образующих канат, особое внимание необходимо обращать на защиту от коррозии.

7.1. Характеристики канатов

Канаты формируют из высокопрочной стальной проволоки с размером сечения (диаметром) до 5–7 мм, получаемой путем прокатки, волочения и термической обработки. В процессе изготовления проволоки предел прочности повышается в 2–4 раза. Однако пластические свойства металла при этом существенно снижаются, что под нагрузкой приводит к хрупкому (внезапному, без видимых деформаций) разрушению канатных элементов. Поверхность проволок может быть без покрытия или покрытая слоем цинка различной толщины для защиты от коррозии. Также возможно изготовление проволок с покрытием из алюминия или полимерных материалов. Временное сопротивление разрыву проволоки характеризуется маркировочной группой и может составлять 1078–2352 МПа.

Канаты, сформированные из отдельных проволок или пучков проволок (см. рисунок на с. 89), могут быть как с параллельным расположением проволок (отдельные проволоки не переплетены друг с другом), так и витые (одинарной, двойной, тройной свивки с сердечником или без).



Основные способы концевое закрепления канатов несущих вант:

а — зажимами на коуше; *б* — проволочная скрутка на коуше; *в* — запрессовка стальной или алюминиевой трубкой; *г* — самозаклинивающийся зажим; *д* — заливка легкоплавящимся сплавом; *е* — заливка в конической полости; *ж* — крепление гильзклинового типа;

1 — подвижный клин; *2* — клин; *3* — гильза

7.2. Выбор каната

При выборе типов и параметров канатов необходимо в первую очередь учитывать требования эксплуатации здания или сооружения, а также условия его возведения и экономические требования. Как правило, по условиям защиты от коррозии в конструкциях постоянных сооружений не следует применять канаты с проволокой диаметром менее 2,4 мм (2,0 мм для сооружений пониженного уровня ответственности). Во всех случаях следует использовать канаты из проволоки максимально возможного диаметра. В целях экономии металла следует использовать канаты максимальных по прочности маркировочных групп, но не более 1764 МПа (180 кг/мм²), поскольку оцинкованная проволока высокой прочности при агрессивных воздействиях среды может проявлять склонность к хрупкому коррозионному разрушению, так называемой «водородной хрупкости».

Из-за неравномерного распределения усилий между проволоками и их взаимного проскальзывания разрывное усилие витого каната в целом (определенное при испытаниях образцов на разрывной ма-

шине) ниже суммарного разрывного усилия проволок, составляющих канат. По той же причине модуль упругости каната значительно ниже модуля упругости материала проволок.

7.3. Крепление канатов

Концевое крепление канатов выбирают в зависимости от их материала, конструктивного решения, степени капитальности и ответственности сооружения, методов предварительного натяжения, наличия специального оборудования и других факторов. Основные способы концевого закрепления канатов приведены на рисунке (см. на с. 89). Способ закрепления концов каната оказывает серьезное влияние на общую несущую способность конструкции, что при расчетах учитывается с помощью понижающего коэффициента.

7.4. Расчет канатов

Прочность центрально-растянутого стального элемента обеспечивается при соблюдении неравенства

$$\frac{N}{N_{\text{ult}}} \leq 1,$$

где N — расчетное усилие в элементе; N_{ult} — расчетная несущая способность стального каната.

Несущая способность каната N_{ult} при расчете на растяжение определяется с учетом типа каната, способа его крепления и других факторов [9] по формуле

$$N_{\text{ult}} = R_{dh} A \frac{\gamma_c \gamma_{cl}}{\gamma_u},$$

где R_{dh} — расчетное сопротивление каната. Для канатов из параллельных проволок $R_{dh} = 0,63 R_{un}$, где R_{un} — временное сопротивление проволоки разрыву, принимаемое по государственным стандартам; а для витых канатов

$$R_{dh} = \frac{kP_{un}}{A\gamma_m},$$

где k — коэффициент агрегатной прочности витого каната; P_{un} — разрывное усилие каната, указанное в государственном стандарте на канат; A — площадь поперечного сечения каната; γ_m — коэффициент надежности по материалу, принимаемый по СП 16.13330.2017 [2, п. 6.9].

Коэффициенты агрегатной прочности витого каната k ([9, табл. 11]) в зависимости от типа каната приведены ниже:

Канаты из параллельных проволок	1,0
Спиральные закрытые и из круглых проволок при кратности свивки:	
до 6	0,87
8	0,91
10	0,94
12	0,95
14	0,96
При отсутствии сведений о кратности свивки	0,9
Канаты двойной свивки с металлическим сердечником	0,85

Факторы, влияющие на прочность каната, учитываются с помощью коэффициентов условий работы: γ_c — коэффициент условий работы конструкции [2, табл. 1, 9]; γ_{cl} — коэффициент условий закрепления каната; γ_u — коэффициент надежности для элементов конструкций, рассчитываемых по временному сопротивлению разрыву [2, п. 4.3.2].

Коэффициенты условий работы γ_{cl} канатных конструкций [9, табл. 10] в зависимости от способа закрепления концов каната приведены ниже:

Концевые крепления с заливкой сплавом ЦАМ9–1,5 на длине не менее 5 диаметров спиральных канатов и канатов двойной свивки с металлическим сердечником	1,0
Концевые крепления с заливкой эпоксидным компаундом в конической полости, при клиновых анкерах или со сплющиванием концов проволок в анкерной плите	1,0
Кольцевые крепления гильзоклинового типа	0,95
Перегибы или отклонения каната вокруг жесткого основания по круговой кривой:	
при отношении радиуса кривой к диаметру каната не менее 25 для спиральных канатов и не менее 20 для канатов двойной свивки ..	1,0

при отношении радиуса кривой к диаметру каната не менее 20 для закрытых канатов, не менее 15 для спиральных канатов из круглых проволок, не менее 12 для канатов двойной свивки.	0,9
Заделка концов на коуше зажимами или точечное опрессование во втулке	0,75
Оплетка каната на коуше или изоляторе	0,55

Примеры расчета канатов

Пример 7.1

Проверить сечение стального каната марки 14,0-Г-В-С-Н-Р-Т-1770/180 по ГОСТ 3066—80 для подвески декоративного потолка в здании торгового центра. Расчетное усилие в канате $N = 40$ кН. Канат закреплен на коуше стальной оплеткой. Декоративный подвесной потолок удерживается в проектном положении четырьмя канатами.

Решение

Вычислим расчетное сопротивление каната

$$R_{dh} = \frac{kP_{un}}{A\gamma_m},$$

где $k = 0,85$ [см. с. 91 сверху], $P_{un} = 128$ кН — разрывное усилие каната в целом [табл. ПЗ.11], $A = 88,3$ мм² — площадь поперечного сечения всех проволок каната [табл. ПЗ.11]; $\gamma_m = 1,6$ — коэффициент надежности по материалу [2, п. 6.9].

Таким образом,

$$R_{dh} = \frac{0,85 \cdot 128\,000}{88,3 \cdot 1,6} = 770 \frac{\text{Н}}{\text{мм}^2}.$$

Теперь вычислим расчетную несущую способность стального каната по формуле

$$N_{ult} = R_{dh} A \frac{\gamma_c \gamma_{cl}}{\gamma_u}.$$

Здесь принимаем $\gamma_c = 0,9$ [2, табл. 1, п. 5]; $\gamma_{cl} = 0,55$ (см. с. 91 внизу); $\gamma_u = 1,3$ [2, п. 4.3.2]. Тогда

$$N_{ult} = 770 \cdot 88,3 \cdot \frac{0,9 \cdot 0,55}{1,3} = 25\,889 \text{ Н} = 25,9 \text{ кН}.$$

Проверим выполнение условия прочности:

$$\frac{N}{N_{ult}} = \frac{40}{25,9} > 1.$$

Следовательно, прочность стального каната марки 14,0-Г-В-С-Н-Р-Т-1770/180 по ГОСТ 3066–80 не достаточна для восприятия проектируемых нагрузок от декоративного подвесного потолка.

Пример 7.2

Подобрать стальной канат для крепления сценического оборудования в здании торгово-развлекательного центра. Расчетное усилие в канате $N = 30$ кН. Заделка концов каната на коуше выполняется болтовыми зажимами. Сценическое оборудование удерживается в проектном положении десятью канатами.

Решение

В качестве несущих канатов примем канаты двойной свивки типа ЛК-О конструкции $6 \times 7(1+6) + 1 \times 7(1+6)$ по ГОСТ 3066–80.

В предельном случае $N_{ult} = N = 30$ кН. Тогда из выражений

$$N_{ult} = R_{dh} A \frac{\gamma_c \gamma_{cl}}{\gamma_u} \text{ и } R_{dh} = \frac{k P_{un}}{A \gamma_m}$$

можно найти требуемое разрывное усилие каната в целом:

$$P_{un} = \frac{N_{ult} \gamma_u \gamma_m}{k \gamma_c \gamma_{cl}}.$$

При заданных условиях $\gamma_u = 1,3$ [2, п. 4.3.2]; $\gamma_m = 1,6$ [2, п. 6.9]; $k = 0,85$ [см. с. 91 вверху]; $\gamma_c = 0,9$ [2, табл. 1, п. 5]; $\gamma_{cl} = 0,75$ (см. с. 91–92), тогда проектируемый канат должен иметь разрывное усилие не менее

$$P_{un} = \frac{30 \cdot 1,3 \cdot 1,6}{0,85 \cdot 0,9 \cdot 0,75} = 108,8 \text{ кН}.$$

Принимаем в качестве несущего канат марки 14,0–1770/180 по ГОСТ 3066–80 с суммарным разрывным усилием каната в целом 128 000 Н (табл. ПЗ.11).

Задания для самостоятельной работы

Задание 7.1

Определить, какую нагрузку может выдержать канатное крепление промышленного оборудования. Исходные данные для расчета принять по табл. 7.1.

Таблица 7.1

Исходные данные для подбора каната

Номер варианта	Диаметр каната, мм	Маркировочная группа, Н/мм ²	Количество канатов	Тип крепления каната
1	6,4	1370	6	Заделка концов на коуше зажимами
2	11,0	1570	4	Клиновые анкеры
3	15,5	1770	5	Концевое крепление со сплющиванием концов проволок в анкерной плите
4	26,0	1570	5	Концевое крепление с заливкой сплавом ЦАМ9–1,5
5	16,5	1370	10	Кольцевое крепление гильзклинового типа
6	7,4	1570	3	Концевое крепление с заливкой эпоксидным компаундом в конической полости
7	9,2	1770	9	Концевое крепление с заливкой эпоксидным компаундом в конической полости
8	20,0	1770	8	Кольцевое крепление гильзклинового типа
9	18,5	1370	9	Заделка концов на коуше зажимами
10	8,2	1570	4	Концевое крепление с заливкой сплавом ЦАМ9–1,5

Задание 7.2

Проверить сечение стального каната двойной свивки по ГОСТ 3066–80 для подвески оборудования. Исходные данные для расчета принять по табл. 7.2.

Таблица 7.2

Исходные данные для расчета каната на прочность

Номер варианта	Нагрузка на канаты от оборудования, кН	Диаметр каната, мм	Маркировочная группа, Н/мм ²	Количество канатов, шт.	Тип крепления каната
1	150	10,0	1370	4	Кольцевое крепление гильзотренового типа
2	300	13,0	1570	6	Концевое крепление с заливкой эпоксидным компаундом в конической полости
3	1000	24,0	1770	5	Концевое крепление с заливкой эпоксидным компаундом в конической полости
4	600	18,5	1570	3	Заделка концов на коуше зажимами
5	250	8,2	1370	8	Клиновые анкеры
6	50	6,4	1570	4	Концевое крепление со сплющиванием концов проволок в анкерной плите
7	1300	16,5	1770	10	Концевое крепление с заливкой сплавом ЦАМ9–1,5
8	1200	20,0	1770	6	Кольцевое крепление гильзотренового типа
9	700	15,5	1370	9	Заделка концов на коуше зажимами
10	200	9,2	1570	8	Концевое крепление с заливкой сплавом ЦАМ9–1,5

СПИСОК БИБЛИОГРАФИЧЕСКИХ ССЫЛОК

1. СП 20.13330.2016. Нагрузки и воздействия. Актуализированная редакция СНиП 2.01.07–85* [Электронный ресурс] / Минстрой России. — М. : ФГУП «Стандартинформ», 2016. — 80 с. — URL: [kodeks://link/d?nd=456044318&point=mark=32EQHSO2JDRMCF2KNT31S03A0OM133GTHOF000000A1KEMA793F71H57](https://kodeks.ru/link/d?nd=456044318&point=mark=32EQHSO2JDRMCF2KNT31S03A0OM133GTHOF000000A1KEMA793F71H57) (дата обращения: 20.09.2019).
2. СП 16.13330.2017. Стальные конструкции. Актуализированная редакция СНиП II-23–81* [Электронный ресурс] / Минстрой России. — М. : ФГУП «Стандартинформ», 2017. — 140 с. — URL: [kodeks://link/d?nd=456069588&point=mark=06PA4UV3GI2BJR3ECRLCV1O9ACHN32EQHSO2JDRMCF2MIUMO403A0OM1](https://kodeks.ru/link/d?nd=456069588&point=mark=06PA4UV3GI2BJR3ECRLCV1O9ACHN32EQHSO2JDRMCF2MIUMO403A0OM1) (дата обращения: 20.09.2019).
3. Технический регламент о безопасности зданий и сооружений : Федеральный закон РФ от 30.12.2009 № 384-ФЗ [Электронный ресурс] // Российская газета. — 2009. — № 225. — URL: [kodeks://link/d?nd=902111644&point=mark=19E7JUF0D0HBML-2H2ARHT176EG6S000000A1FHH3D73JM3IBD3DHNUM4](https://kodeks.ru/link/d?nd=902111644&point=mark=19E7JUF0D0HBML-2H2ARHT176EG6S000000A1FHH3D73JM3IBD3DHNUM4) (дата обращения: 20.09.2019).
4. ГОСТ 27751–2014. Надежность строительных конструкций и оснований. Основные положения [Электронный ресурс]. — М. : Стандартинформ, 2015. — 16 с. — URL: [kodeks://link/d?nd=1200115736&point=mark=31FJ93029GH-G8I3KORR6N2O74AJ624PKAUO2G0LFVR15IKAVL3VVVVV4](https://kodeks.ru/link/d?nd=1200115736&point=mark=31FJ93029GH-G8I3KORR6N2O74AJ624PKAUO2G0LFVR15IKAVL3VVVVV4) (дата обращения: 20.09.2019).
5. Горев В. В. Металлические конструкции : учеб. для строит. вузов : в 3 т., т. 2. Конструкции зданий / В. В. Горев [и др.] ; под ред. В. В. Горева. — М. : Высшая школа, 2002. — 528 с.

6. Кудишин Ю. И., Беленя Е. И., Игнатьева В. С. Металлические конструкции. Общий курс / под общей ред. Ю. И. Кудишина. — М. : Академия, 2010. — 668 с.
7. ГОСТ Р 57837—2017. Двутавры стальные горячекатаные с параллельными гранями полок. Технические условия. — М. : Стандартинформ, 2017. — 50 с. — URL: [kodeks://link/d?nd=1200157342&point=mark=2H2ARHP3RJU OKR1GB066A2Q8KD2M1F1848L080MSEG010RQFI3JGP7A5](https://kodeks.ru/link/d?nd=1200157342&point=mark=2H2ARHP3RJU OKR1GB066A2Q8KD2M1F1848L080MSEG010RQFI3JGP7A5) (дата обращения: 20.09.2019)
8. Горев В. В. Металлические конструкции : учеб. для строит. вузов : в 3 т., т. 1. Элементы конструкций / В. В. Горев [и др.] ; под ред. В. В. Горева. — М. : Высшая школа, 2001. — 551 с.
9. Рекомендации по выбору типов и расчету прочности стальных канатов, применяемых в строительных металлических конструкциях [Электронный ресурс]. — М. : ЦНИИПроектстальконструкция им. Мельникова, 1991. — 32 с. — URL: [kodeks://link/d?nd=1200081379&point=mark=3IT1G4233 LQMM808D3BPK3V VVVUU3VVVVUU3ITM32M3VVVVUU34UIBOF](https://kodeks.ru/link/d?nd=1200081379&point=mark=3IT1G4233 LQMM808D3BPK3V VVVUU3VVVVUU3ITM32M3VVVVUU34UIBOF) (дата обращения: 20.09.2019).
10. ГОСТ 3066—80. Канат двойной свивки типа ЛК-О конструкции 6х7(1+6)+1х7(1+6) [Электронный ресурс]. — М.: Стандартинформ, 2011. — 10 с. — URL: [kodeks://link/d?nd=1200007623&point=mark=31FJ9302F9 QMU807BPUBU-3VSQFQN3KORR6N2O74AJ63I5A22A27VENEL](https://kodeks.ru/link/d?nd=1200007623&point=mark=31FJ9302F9 QMU807BPUBU-3VSQFQN3KORR6N2O74AJ63I5A22A27VENEL) (дата обращения: 20.09.2019).

ПРИЛОЖЕНИЕ 1

Таблица П1.1

Удельный вес строительных материалов и изделий (коэффициенты надежности по нагрузке указаны согласно СП 20.13330.2016 [1, табл. 7.1])

№ п/п	Материал	Удельный вес γ , кг/м ³	γ_f
1	Рубероид и другие гидроизоляционные кровельные материалы (бикрост, техноэласт, стеклоизол и д.р.)	600	1,3
2	Битум	1400	1,3
3	Гидроизоляционная мембрана	1500	1,2
4	Асфальтовая стяжка	2100	1,3
5	Цементно-песчаная стяжка	1800	1,3
6	Листы асбоцементные	1800	1,2
7	Ориентированно-стружечная плита OSB	650	1,2
8	Древесностружечные плиты	1000	1,2
9	Минераловатные плиты	100–300	1,2
10	Пенополистирол	45	1,2
11	Пенополиуретан	80	1,3
12	Керамзит фракции 0–5 мм	600	1,3
13	Керамзит фракции 5–10 мм	450	1,3
14	Керамзит фракции 10–40 мм	350	1,3
15	Котельный шлак	900	1,3
16	Вермикулит	200	1,3
17	Керамзитобетон	1800	1,3
18	Пенобетон	600	1,3
19	Пеноизол	70	1,3
20	Газо- и пенобетон	1200	1,3
21	Полистиролбетон	600	1,3
22	Линолеум	1800	1,2
23	Ламинат	1100	1,2
24	Листы гипсокартонные	800	1,2
25	Сосна и ель	500	1,1
26	Песок	1600	1,2

Окончание табл. П1.1

№ п/п	Материал	Удельный вес γ , кг/м ³	γ_f
27	Кирпичная кладка	1800	1,1
28	Железобетон	2500	1,1
29	Стекло	2500	1,2
30	Сталь	7850	1,05

Таблица П1.2

Собственный вес строительных конструкций и коэффициенты надежности по нагрузке (согласно СП 20.13330.2016 [1, табл. 7.1])

№ п/п	Материал	Вес, кг/м ²	γ_f
1	Профилированный настил 0,8–1 мм	10–15	1,05
2	Обрешетка из досок $t = 25$ мм	10	1,3
3	Деревянная стропильная система покрытия	40	1,3
4	Железобетонные ребристые плиты $t = 300$ мм	175	1,1
5	Железобетонные многопустотные плиты $t = 220$ мм	315	1,1
6	Мелкоразмерные плитки покрытия $t = 80$ мм	100	1,1
7	Стропильные фермы	30	1,05
8	Связи по покрытию	10	1,05
9	Прогоны	15	1,05
10	Деревянные лаги пола	10	1,3

Таблица П1.3

Нормативные значения веса снегового покрова на 1 м² поверхности земли (согласно СП 20.13330.2016 [1, карта 1 и табл. 10.1])

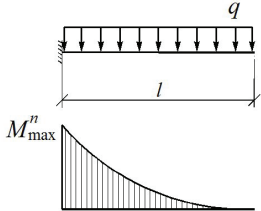
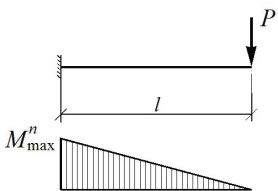
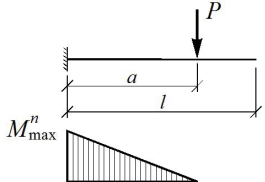
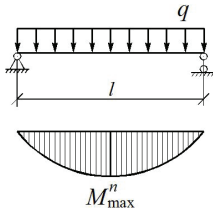
Снеговой район	s_g , кПа	Населенный пункт
I	0,5	Астрахань, Анадырь, Благовещенск, Владикавказ, Грозный, Калининград, Кызыл, Махачкала, Нальчик, Севастополь, Чита
II	1,0	Абакан, Биробиджан, Владивосток, Волгоград, Иркутск, Ростов-на-Дону, Ставрополь, Улан-Удэ, Хабаровск, Якутск, Ялта
III	1,5	Барнаул, Воронеж, Екатеринбург, Краснодар, Красноярск, Курган, Москва, Новосибирск, Омск, Оренбург, Пенза, Саратов, Санкт-Петербург, Смоленск, Тюмень, Челябинск
IV	2,0	Архангельск, Владимир, Вологда, Горно-Алтайск, Казань, Кемерово, Кострома, Магадан, Нижний Новгород, Петрозаводск, Салехард, Самара, Чебоксары, Ханты-Мансийск

Окончание табл. П1.3

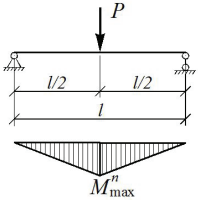
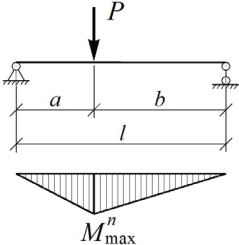
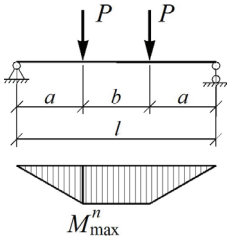
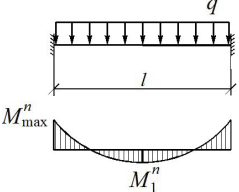
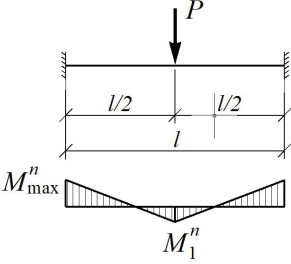
Снеговой район	s_g , кПа	Населенный пункт
V	2,5	Ижевск, Йошкар-Ола, Киров, Кудымкар, Мурманск, Нарьян-Мар, Пермь, Саранск, Сыктывкар, Уфа, Холмск
VI	3,0	Воркута, Дудинка, Игарка, Красновишерск
VII	3,5	Белогорск, Снежногорск, Таштагол
VIII	4,0	Петропавловск-Камчатский, Северо-Курильск, Южно-Сахалинск

Таблица П1.4

Коэффициенты s к расчету прогибов

№ п/п	Расчетная схема балки	Изгибающие моменты в опасных сечениях	k
1		$M_{\max}^n = \frac{ql^2}{2}$	$\frac{1}{4}$
2		$M_{\max}^n = Pl$	$\frac{1}{3}$
3		$M_{\max}^n = Pa$	$\frac{a(3l-a)}{6l^2}$
4		$M_{\max}^n = \frac{ql^2}{8}$	$\frac{5}{48}$

Окончание табл. П1.4

№ п/п	Расчетная схема балки	Изгибающие моменты в опасных сечениях	k
5		$M_{\max}^n = \frac{Pl}{4}$	$\frac{1}{12}$
6		$M_{\max}^n = \frac{Pa(l-a)}{l}$	$\frac{3l^2 - 4a^2}{48l(l-a)}$
7		$M_{\max}^n = Pa$	$\frac{3l^2 - 4a^2}{24l^2}$
8		$M_{\max}^n = \frac{ql^2}{12},$ $M_1^n = \frac{ql^2}{24}$	$\frac{1}{32}$
9		$M_{\max}^n = \frac{Pl}{8},$ $M_1^n = \frac{Pl}{8}$	$\frac{1}{24}$

Примечание. В таблице даны коэффициенты для прогиба в середине пролета для балок на двух опорах и на конце консоли для консольных балок.

ПРИЛОЖЕНИЕ 2

Таблица П2.1

Характеристики стали для изготовления металлических конструкций

Класс стали по ГОСТ 27772 (марка стали)	Толщина проката, мм	Расчетные сопротивления при растяжении, сжатии, изгибе и срезе проката, МПа					
		листовой			фасонный		
		R_y	R_u	R_s	R_y	R_u	R_s
С235 (ВСтЗкп)	До 4,0	230	350	130	—	—	—
С245 (ВСтЗпс)	До 20,0	240	360	135	240	360	135
	20,0–40,0	230	360	130	230	360	130
С255 (ВСтЗсп)	До 4,0	250	370	145	—	—	—
	4,0–10,0	240	370	135	250	370	145
	10,0–20,0	240	360	135	240	360	135
	20,0–40,0	230	360	130	230	360	130
С345 (09Г2С)	До 10,0	340	480	195	340	470	195
	10,0–20,0	320	460	180	320	460	180
	20,0–40,0	300	450	170	300	450	170
	40,0–60,0	280	440	160	—	—	—

Примечания. 1. За толщину фасонного проката следует принимать толщину полки.
2. Значения в таблице представлены с округлением до 5 МПа, по данным [2, табл. 2, 3, В3, В4 и В5].

Таблица П2.2

Расчетные длины

Элемент конструкции	Расчетные длины элементов ферм		
	поясов	опорных раскосов и стоек	прочих элементов
1. В плоскости ферм:			
а) для ферм, кроме указанных в позиции 1, б;	1	1	0,8l
б) для ферм из одиночных уголков и ферм с креплением элементов решетки к поясам вприты	1	1	0,9l
2. В направлении, перпендикулярном к плоскости фермы (из плоскости фермы):			

Окончание табл. П2.2

Элемент конструкции	Расчетные длины элементов ферм		
	поясов	опорных раскосов и стоек	прочих элементов
а) для ферм, кроме указанных в позиции 2, б;	l_1	l_1	l_1
б) для ферм с прикреплением элементов решетки к поясам впритык	l_1	l_1	$0,9l_1$
3. В любом направлении для ферм из одиночных уголков при одинаковых расстояниях между точками закрепления элементов в плоскости и из плоскости фермы	$0,85l$	1	$0,85l$

Примечания: 1. l — геометрическая длина элемента (расстояние между центрами узлов) в плоскости фермы.

2. l_1 — расстояние между узлами, закрепленными от смещения из плоскости фермы (поясами ферм, специальными связями, жесткими плитами покрытий, прикрепленными к поясу сварными швами или болтами, и т. п.).

Таблица П2.3

Предельные гибкости элементов ферм и связей по покрытию

Элемент конструкции	Предельная гибкость элемента λ_u
Сжатые пояса, опорные раскосы и опорные стойки	$180 - 60\alpha$
Сжатые раскосы и стойки, кроме опорных	$210 - 60\alpha$
Растянутые пояса и раскосы	400
Элементы связей	200

Примечание. Коэффициент определяется по формуле $\alpha = \frac{N}{A\varphi R_y \gamma_c} \geq 0,5$.

ПРИЛОЖЕНИЕ 3

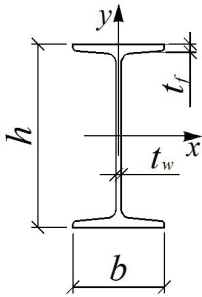


Таблица П3.1

**Сортамент горячекатаных двутавров
с уклоном внутренних граней полок по ГОСТ 8239–89**

Про- филь	Размеры профиля, мм				Мас- са 1 м, кг	Геометрические характеристики сечения							
	h	b	t_w	t_f		A , см ²	I_x , см ⁴	W_{x^*} , см ³	S_{x^*} , см ³	i_{x^*} , см	I_y , см ⁴	W_{y^*} , см ³	i_{y^*} , см
10	100	55	4,5	7,2	9,46	12	198	39,7	23	4,06	17,9	6,49	1,22
12	120	64	4,8	7,3	11,5	14,7	350	58,4	33,7	4,88	27,9	8,72	1,38
14	140	73	4,9	7,5	13,7	17,4	572	81,7	46,8	5,73	41,9	11,5	1,55
16	160	81	5,0	7,8	15,9	20,2	873	109	62,3	6,57	58,6	14,5	1,7
18	180	90	5,1	8,1	18,4	23,4	1290	143	81,4	7,42	82,6	18,4	1,88
20	200	100	5,2	8,4	21,0	26,8	1840	184	104	8,28	115	23,1	2,07
22	220	110	5,4	8,7	24,0	30,6	2550	232	131	9,13	157	28,6	2,27
24	240	115	5,6	9,5	27,3	34,8	3460	289	163	9,97	198	34,5	2,37
27	270	125	6,0	9,8	31,5	40,2	5010	371	210	11,2	260	41,5	2,54
30	300	135	6,5	10,2	36,5	46,5	7080	472	268	12,3	337	49,9	2,69
33	330	140	7,0	11,2	42,2	53,8	9840	597	339	13,5	419	59,9	2,79
36	360	145	7,5	12,3	48,6	61,9	13380	743	423	14,7	516	71,1	2,89
40	400	155	8,3	13,0	57,0	72,6	19062	953	545	16,2	667	86,1	3,03
45	450	160	9,0	14,2	66,5	84,7	27696	1231	708	18,1	808	101	3,09
50	500	170	10,0	15,2	78,5	100,0	39727	1589	919	19,9	1043	123	3,23
55	550	180	11,0	16,5	92,6	118	55962	2035	1181	21,8	1356	151	3,39
60	600	190	12,0	17,8	108	138	76806	2560	1491	23,6	1725	182	3,54

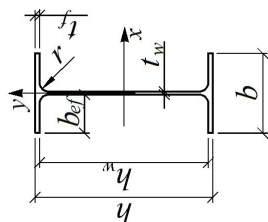


Таблица ПЗ.2
Сортамент горячекатаных двутавров балочного типа с параллельными гранями полок по ГОСТ Р 57837–2017

Про- филь	Размеры профиля, мм							А, см ² ,	Масса 1 м, кг	Справочные величины для осей							
	h	b	t _w	t _f	h _w	b _{ef}	r			I _{x3} см ⁴	W _x , см ³	S _x , см ³	i _{x3} см	I _{y3} , см ⁴	W _{y3} , см ³	S _{y3} , см ³	i _y , мм
10Б1	100	55	4,1	5,7	88,6	25,5	7	10,32	8,1	171,01	34,20	19,70	40,70	15,25	5,54	4,57	12,15
12Б1	117,6	64	3,8	5,1	107,4	30,1	7	11,03	8,7	257,36	43,80	24,94	48,30	22,39	7,00	5,49	14,25
12Б2	120	64	4,4	6,3	107,4	29,8	7	13,21	10,4	317,75	53,00	30,36	49,04	27,67	8,65	6,79	14,47
14Б1	137,4	73	3,8	5,6	126,2	34,6	7	13,39	10,5	434,86	63,30	35,80	56,98	36,42	9,98	7,76	16,49
14Б2	140	73	4,7	6,9	126,2	34,2	7	16,43	12,9	541,22	77,30	44,17	57,40	43,23	11,84	9,62	16,22
16Б1	157	82	4	5,9	145,2	39	9	16,18	12,7	689,28	87,80	49,55	65,27	54,43	13,27	10,35	18,34
16Б2	160	82	5	7,4	145,2	38,5	9	20,09	15,8	869,29	108,70	61,93	65,78	68,31	16,66	13,05	18,44
18Б1	177	91	4,3	6,5	164	43,4	9	19,58	15,4	1062,74	120,10	67,66	73,68	78,49	17,25	13,98	20,02
18Б2	180	91	5,3	8	164	42,9	9	23,95	18,8	1316,96	146,30	83,21	74,16	97,45	21,42	17,30	20,17
20Б0	198	99	4,5	7	184	47,25	11	23,18	18,2	1581,56	160,00	89,88	82,60	113,61	22,95	17,86	22,14
20Б1*	200	100	5,5	8	184	47,25	11	27,16	21,3	1844,26	184,00	104,73	82,41	133,91	26,78	20,97	22,21
20Б2	203	101	6,5	9,5	184	47,25	11	32,19	25,3	2218,49	219,00	124,99	83,02	163,93	32,46	25,50	22,57
20Б3	208	102	8	12	184	47	11	40,24	31,6	2852,62	274,00	158,46	84,20	213,50	41,86	33,02	23,03
25Б1*	248	124	5	8	232	59,5	12	32,68	25,7	3537,11	285,00	159,68	104,04	254,85	41,11	31,80	27,93

Продолжение табл. ПЗ.2

Про- филь	Размеры профиля, мм							Масса 1 м, кг	Справочные величины для осей							
	<i>h</i>	<i>b</i>	<i>t_w</i>	<i>t_f</i>	<i>h_w</i>	<i>b_{ef}</i>	<i>r</i>		<i>I_{x3}</i> , см ⁴	<i>W_x</i> , см ³	<i>S_x</i> , см ³	<i>i_x</i> , см	<i>I_y</i> , см ⁴	<i>W_y</i> , см ³	<i>S_y</i> , см ³	<i>i_y</i> , мм
25Б2*	250	125	6	9	232	59,5	12	37,66	4051,73	324,00	182,93	103,73	293,85	47,02	36,55	27,93
25Б3	255	126	7,5	11,5	232	59,25	12	47,62	5238,16	411,00	233,88	104,88	384,79	61,08	47,67	28,43
25Б4	260	127	9	14	232	59	12	57,68	6481,01	499,00	286,25	106,00	480,06	75,60	59,24	28,85
30Б1*	298	149	5,5	8	282	71,75	13	40,80	6318,22	424,00	237,53	124,44	442,00	59,33	45,88	32,91
30Б2*	300	150	6,5	9	282	71,75	13	46,78	7209,26	481,00	271,06	124,14	507,53	67,67	52,56	32,94
30Б3	305	151	8	11,5	282	71,5	13	58,74	9254,93	607,00	344,37	125,52	661,88	87,67	68,31	33,57
30Б4	310	152	9,5	14	282	71,25	13	70,80	11381,41	734,00	419,40	126,79	822,37	108,21	84,60	34,08
35Б1*	346	174	6	9	328	84	14	52,68	11094,49	641,00	358,09	145,12	791,54	90,98	70,11	38,76
35Б2*	350	175	7	11	328	84	14	63,14	13559,01	775,00	433,96	146,54	984,34	112,50	86,79	39,48
35Б3	355	176	8,5	13,5	328	83,75	14	77,08	16797,02	946,00	533,54	147,62	1229,36	139,70	108,13	39,94
35Б4	361	177	10	16,5	328	83,5	14	92,89	20719,71	1148,00	651,07	149,35	1528,90	172,76	134,02	40,57
40Б1*	396	199	7	11	374	96	16	72,16	20018,83	1011,00	563,93	166,56	1447,14	145,44	111,97	44,78
40Б2*	400	200	8	13	374	96	16	84,12	23704,43	1185,00	663,13	167,87	1736,38	173,64	133,82	45,43
40Б3	406	201	9,5	16	374	95,75	16	102,05	29352,46	1446,00	813,38	169,60	2169,88	215,91	166,74	46,11
40Б4	412	202	11	19	374	95,5	16	120,10	35196,83	1709,00	966,65	171,19	2616,25	259,03	200,47	46,67
45Б1*	446	199	8	12	422	95,5	18	84,30	28697,35	1287,00	725,06	184,50	1580,02	158,80	123,29	43,29
45Б2*	450	200	9	14	422	95,5	18	96,76	33450,76	1487,00	839,53	185,93	1871,56	187,16	145,46	43,98
45Б3	456	201	10,5	17	422	95,25	18	115,43	40710,41	1786,00	1012,55	187,80	2307,61	229,61	178,81	44,71
45Б4	462	202	12	20	422	95	18	134,22	48197,42	2087,00	1188,75	189,50	2756,65	272,94	213,01	45,32
50Б1*	492	199	8,8	12	468	95,1	20	92,38	36841,90	1498,00	853,45	199,70	1581,95	158,99	124,86	41,38
50Б2*	496	199	9	14	468	95	20	101,27	41869,08	1688,00	957,23	203,33	1844,88	185,42	144,88	42,68
50Б3*	500	200	10	16	468	95	20	114,23	47846,06	1914,00	1087,59	204,66	2140,78	214,08	167,48	43,29

Окончание табл. ПЗ.2

Про- филь	Размеры профиля, мм							Масса 1 м, кг	Справочные величины для осей								
	h	b	t _w	t _f	h _w	b _{ef}	r		A, см ²	I _x , см ⁴	W _x , см ³	S _x , см ³	i _x , см	I _y , см ⁴	W _y , см ³	S _y , см ³	i _y , мм
50Б4	508	201	12	20	468	94,5	20	139,99	109,9	59953,57	2360,00	1348,82	206,94	2717,84	270,43	212,23	44,06
50Б5	516	202	15	24	468	93,5	20	170,59	133,9	73345,27	2843,00	1642,68	207,35	3315,52	328,27	260,04	44,09
55Б1*	543	220	9,5	13,5	516	105,25	24	113,36	89	55677,43	2051,00	1164,94	221,62	2405,52	218,68	171,67	46,06
55Б2*	547	220	10	15,5	516	105	24	124,74	97,9	62784,46	2296,00	1301,49	224,34	2761,32	251,03	196,56	47,05
55Б3	553	221	12	18,5	516	104,5	24	148,63	116,7	75321,23	2724,00	1554,49	225,11	3342,90	302,53	237,99	47,42
55Б4	560	222	14	22	516	104	24	174,86	137,3	89907,11	3211,00	1842,20	226,75	4032,05	363,25	286,76	48,02
60Б1*	596	199	10	15	566	94,5	22	120,45	94,6	68715,92	2306,00	1325,36	238,85	1979,64	198,96	157,64	40,54
60Б2*	600	200	11	17	566	94,5	22	134,41	105,5	77632,26	2588,00	1489,36	240,32	2278,14	227,81	180,72	41,17
60Б3	604	201	12,5	19	566	94,25	22	151,28	118,8	87472,12	2897,00	1675,38	240,46	2586,61	257,37	205,28	41,35
60Б4	612	202	15	23	566	93,5	22	181,97	142,8	106509,52	3481,00	2026,68	241,93	3182,61	315,11	253,12	41,82
70Б1*	691	260	12	15,5	660	124	24	164,74	129,3	125922,22	3645,00	2094,79	276,47	4557,34	350,56	276,64	52,60
70Б2*	697	260	13	18,5	660	123,5	24	186,94	146,7	147101,94	4221,00	2419,90	280,51	5439,29	418,41	329,52	53,94
70Б3	702	261	14,5	21	660	123,25	24	210,26	165,1	167085,07	4761,00	2736,06	281,89	6248,47	478,81	378,10	54,51
70Б4	710	262	17	25	660	122,5	24	248,14	194,8	199680,00	5625,00	3249,28	283,67	7531,14	574,90	456,29	55,09

Примечание. Профили, помеченные знаком *, по размерам и геометрическим характеристикам полностью соответствуют аналогичным профилям по СТО АСЧМ 20–93 «Двутавры горячекатаные с параллельными гранями полок. Технические условия».

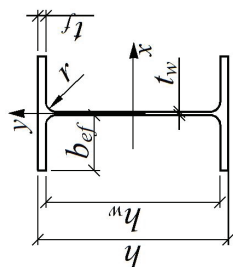


Таблица П3.3
Сортамент горячекатаных двутавров широкополочного типа с параллельными гранями полок по ГОСТ Р 57837—2017

Про- филь	Размеры профиля, мм							A, см ² ,	Масса 1 м, кг	Справочные величины для осей							
	h	b	t _w	t _f	h _w	b _{ef}	r			I _{x3} , см ⁴	W _{x3} см ³	S _{x3} см ³	i _{x3} см	I _{y3} , см ⁴	W _{y3} , см ³	S _{y3} см ³	i _{y3} , мм
20Ш0	190	149	5	7	176	72	13	31,11	24,4	2079,60	218,90	120,97	81,76	386,62	51,90	39,79	35,25
20Ш1*	194	150	6	9	176	72	13	39,01	30,6	2689,74	277,30	154,28	83,04	507,16	67,62	51,85	36,06
20Ш2	199	151	7,5	11,5	176	71,75	13	49,38	38,8	3502,14	352,00	198,01	84,21	661,24	87,58	67,27	36,59
20Ш3	204	152	9	14	176	71,5	13	59,85	47	4362,01	427,70	243,18	85,37	821,37	108,08	83,18	37,05
20Ш4	211	155	11	17,5	176	72	13	75,06	58,9	5696,83	540,00	311,20	87,12	1089,19	140,54	108,38	38,09
20Ш5	218	157	13	21	176	72	13	90,27	70,9	7117,64	653,00	381,26	88,80	1359,05	173,13	133,81	38,80
20Ш6	228	159	16	26	176	71,5	13	112,29	88,1	9312,80	816,90	485,66	91,07	1749,68	220,09	170,75	39,47
25Ш0	240	174	6	9	222	84	16	46,84	36,8	4981,13	415,10	229,64	103,13	791,75	91,01	69,84	41,11
25Ш1*	244	175	7	11	222	84	16	56,24	44,1	6121,23	501,80	279,19	104,33	984,48	112,51	86,36	41,84
25Ш2	249	176	8,5	13,5	222	83,75	16	68,59	53,8	7624,69	612,40	343,94	105,44	1229,33	139,70	107,41	42,34
25Ш3	256	177	10,5	17	222	83,25	16	85,69	67,3	9819,49	767,20	436,06	107,05	1575,20	177,99	137,18	42,88
25Ш4	264	182	13	21	222	84,5	16	107,50	84,4	12751,44	966,00	556,26	108,91	2116,49	232,58	179,70	44,37
25Ш5	274	184	16	26	222	84	16	133,40	104,7	16478,26	1202,80	703,59	111,14	2710,17	294,58	228,44	45,07
25Ш6	286	186	19	32	222	83,5	16	163,42	128,3	21287,68	1488,70	884,76	114,13	3448,56	370,81	288,22	45,94
30Ш0	290	199	7	10	270	96	18	61,48	48,3	9429,75	650,40	360,60	123,85	1316,09	132,27	101,70	46,27
30Ш1*	294	200	8	12	270	96	18	72,38	56,8	11338,30	771,40	429,51	125,16	1603,25	160,33	123,28	47,06
30Ш2*	300	201	9	15	270	96	18	87,38	68,6	14209,66	947,40	529,86	127,52	2034,12	202,40	155,42	48,25
30Ш3	306	203	11	18	270	96	18	105,56	82,9	17455,33	1140,90	644,63	128,59	2515,45	247,83	190,85	48,82

Продолжение табл. ПЗ.3

Про- филь	Размеры профиля, мм							Масса I м, кг	Справочные величины для осей							
	h	b	t _w	t _f	h _w	b _{ef}	r		I _x , см ⁴	W _x , см ³	S _x , см ³	i _x , см	I _y , см ⁴	W _y , см ³	S _y , см ³	i _y , мм
30Ш4	314	206	13	22	270	96,5	18	128,52	21967,16	1399,20	798,35	130,74	3213,67	312,01	240,56	50,00
30Ш5	326	208	16	28	270	96	18	162,46	29037,68	1781,50	1031,79	133,69	4213,04	405,10	313,16	50,92
30Ш6	342	210	20	36	270	95	18	207,98	39315,66	2299,20	1357,14	137,49	5580,38	531,46	412,35	51,80
35Ш1*	334	249	8	11	312	120,5	20	83,17	17107,05	1024,40	565,71	143,42	2834,61	227,68	174,45	58,38
35Ш2*	340	250	9	14	312	120,5	20	101,51	21676,50	1275,20	706,03	146,13	3650,96	292,08	223,45	59,97
35Ш3	347	252	11	17,5	312	120,5	20	125,95	27535,21	1587,10	886,41	147,86	4674,89	371,02	284,26	60,92
35Ш4	354	254	13	21	312	120,5	20	150,67	33692,45	1903,60	1072,31	149,54	5745,79	452,42	347,18	61,75
35Ш5	364	258	16	26	312	121	20	187,51	43231,44	2375,40	1354,36	151,84	7458,32	578,16	444,79	63,07
35Ш6	376	260	19	32	312	120,5	20	229,11	54967,48	2923,90	1688,25	154,89	9398,87	722,99	557,28	64,05
35Ш7	392	262	23	40	312	119,5	20	284,79	71815,25	3664,10	2150,36	158,80	12030,68	918,37	709,81	65,00
40Ш1*	383	299	9,5	12,5	358	144,75	22	112,91	30554,32	1595,60	880,73	164,50	5576,07	372,98	285,42	70,27
40Ш2*	390	300	10	16	358	145	22	135,95	38674,10	1983,40	1093,97	168,66	7207,76	480,52	366,53	72,81
40Ш3	397	302	12	19,5	358	145	22	164,89	47846,38	2410,50	1339,96	170,34	8962,47	593,54	453,33	73,72
40Ш4	406	304	14,5	24	358	144,75	22	201,98	60107,10	2961,00	1662,00	172,51	11253,72	740,38	566,43	74,64
40Ш5	418	309	17,5	30	358	145,75	22	252,20	77867,25	3725,80	2114,90	175,71	14776,25	956,39	732,65	76,54
40Ш6	430	311	21	36	358	145	22	303,25	96432,24	4485,30	2578,21	178,32	18086,33	1163,11	893,43	77,23
40Ш7	446	313	25	44	358	144	22	369,09	122543,61	5495,30	3204,85	182,21	22547,06	1440,71	1109,25	78,16
45Ш0	434	299	10	15	404	144,5	24	135,04	46794,17	2156,50	1192,24	186,15	6692,38	447,65	342,86	70,40
45Ш1*	440	300	11	18	404	144,5	24	157,38	56069,13	2548,70	1412,44	188,75	8111,30	540,75	413,80	71,79
45Ш2	446	302	13	21	404	144,5	24	184,30	66379,08	2976,80	1661,51	189,78	9655,60	639,44	490,29	72,38
45Ш3	452	304	15	24	404	144,5	24	211,46	77050,83	3409,40	1915,99	190,88	11258,31	740,68	569,04	72,97
45Ш4	464	308	18	30	404	145	24	262,46	98962,82	4265,80	2420,93	194,18	14639,87	950,64	731,39	74,69
45Ш5	476	310	21	36	404	144,5	24	312,98	121722,09	5114,50	2932,26	197,21	17919,20	1156,08	891,09	75,67
45Ш6	492	312	25	44	404	143,5	24	380,50	153856,39	6254,40	3633,74	201,08	22341,67	1432,16	1106,76	76,63
50Ш1*	482	300	11	15	452	144,5	26	145,52	60366,76	2505,00	1395,56	203,67	6763,79	450,92	347,62	68,18
50Ш2*	487	300	14,5	17,5	452	142,75	26	176,34	71863,01	2951,40	1666,63	201,87	7897,73	526,52	409,42	66,92

Окончание табл. ПЗ.3

Про- филь	Размеры профиля, мм							A, см ²	Масса 1 м, кг	Справочные величины для осей							
	h	b	t _w	t _f	h _w	b _{ef}	r			I _x , см ⁴	W _x , см ³	S _x , см ³	i _x , см	I _y , см ⁴	W _y , см ³	S _y , см ³	i _y , мм
50ШЗ*	493	300	15,5	20,5	452	142,25	26	198,86	156,1	83437,19	3385,00	1912,66	204,83	9251,05	616,74	478,76	68,21
50Ш4	499	300	16,5	23,5	452	141,75	26	221,38	173,8	95277,59	3818,90	2161,40	207,45	10604,74	706,98	548,21	69,21
50Ш5	508	302	19	28	452	141,5	26	260,80	204,7	114959,83	4526,10	2578,55	209,95	12894,47	853,94	663,27	70,31
50Ш6	518	310	22	33	452	144	26	309,84	243,2	140248,12	5415,10	3106,50	212,75	16442,90	1060,83	825,05	72,85
50Ш7	532	312	26	40	452	143	26	372,92	292,7	174203,77	6549,20	3797,96	216,13	20335,63	1303,57	1017,09	73,84
50Ш8	548	314	30	48	452	142	26	442,84	347,6	214879,98	7842,50	4598,03	220,28	24895,49	1585,70	1240,04	74,98
60Ш1*	582	300	12	17	548	144	28	174,49	137	102709,98	3529,80	1981,30	242,62	7669,82	511,32	396,49	66,30
60Ш2*	589	300	16	20,5	548	142	28	217,41	170,7	126193,28	4285,30	2438,84	240,92	9259,20	617,28	483,58	65,26
60Ш3*	597	300	18	24,5	548	141	28	252,37	198,1	150035,32	5026,60	2869,72	243,82	11069,11	737,94	578,58	66,23
60Ш4	605	300	20	28,5	548	140	28	287,33	225,6	174450,48	5767,20	3305,39	246,40	12881,13	858,74	674,12	66,96
60Ш5	616	302	23	34	548	139,5	28	338,13	265,4	210467,04	6833,60	3941,46	249,49	15686,64	1038,85	817,44	68,11
60Ш6	630	315	27	41	548	144	28	412,99	324,2	266239,93	8452,30	4907,09	253,90	21476,15	1363,57	1073,64	72,11
60Ш7	644	317	31	48	548	143	28	480,93	377,5	318172,04	9881,40	5788,14	257,21	25653,72	1618,53	1279,02	73,04
60Ш8	664	319	36	58	548	141,5	28	574,05	450,6	394963,73	11896,70	7047,57	262,30	31634,17	1983,33	1572,47	74,23
70Ш1*	692	300	13	20	652	143,5	28	211,49	166	172424,05	4983,70	2814,39	285,53	9024,71	601,65	468,06	65,32
70Ш2*	698	300	15	23	652	142,5	28	242,53	190,4	198779,77	5696,00	3233,41	286,29	10382,89	692,19	540,47	65,43
70Ш3*	707	300	18	27,5	652	141	28	289,09	226,9	239021,10	6761,90	3867,02	287,54	12424,17	828,28	650,29	65,56
70Ш4*	715	300	20,5	31,5	652	139,8	28	329,39	258,6	275127,01	7696,20	4426,46	289,01	14095,21	939,68	748,55	65,42
70Ш5	725	300	23	36,5	652	138,5	28	375,69	294,9	319781,96	8821,90	5099,31	291,75	16514,14	1100,94	870,34	66,30
70Ш6	740	313	27	44	652	143	28	458,21	359,7	403258,33	10899,20	6334,98	296,66	22622,18	1445,51	1143,72	70,26
70Ш7	758	315	32	53	652	141,5	28	549,27	431,2	496466,98	13099,70	7693,00	300,64	27822,55	1766,51	1405,68	71,17
70Ш8	780	317	38	64	652	139,5	28	660,25	518,3	616075,38	15797,10	9389,94	305,47	34321,56	2165,40	1734,01	72,10

Примечание. Профили, помеченные знаком *, по размерам и геометрическим характеристикам полностью соответствуют аналогичным профилям по СТО АСЧМ 20–93 «Двутавры горячекатаные с параллельными гранями полок. Технические условия».

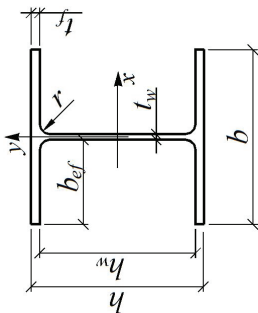


Таблица ПЗ.4
Сортамент горячекатаных двутавров колонного типа с параллельными гранями полок по ГОСТ Р 57837–2017

Про- филь	Размеры профиля, мм							Мас- са 1 м, кг	Справочные величины для осей								
	h	b	t _w	t _f	h _w	b _{ef}	r		I _x , см ⁴	W _x , см ³	S _x , см ³	i _x , см	I _y , см ⁴	W _y , см ³	S _y , см ³	i _y , мм	
15K1	147	149	6	8,5	130	71,5	11	34,17	1366,76	186,00	103,63	63,25	469,21	62,98	48,05	37,06	
15K2	150	150	7	10	130	71,5	11	40,14	1641,33	218,80	123,04	63,95	563,28	75,10	57,36	37,46	
15K3	155	151	8,5	12,5	130	71,25	11	49,84	2117,61	273,20	155,69	65,18	718,46	95,16	72,78	37,97	
15K4	160	152	10	15	130	71	11	59,64	2629,16	328,60	189,67	66,40	879,66	115,74	88,65	38,41	
15K5	166	153	12	18	130	70,5	11	71,72	3291,43	396,60	232,39	67,74	1077,13	140,80	108,12	38,75	
20K1*	196	199	6,5	10	176	96,25	13	52,69	41,4	3846,06	392,50	216,41	85,44	1314,47	132,11	100,38	49,95
20K2*	200	200	8	12	176	96	13	63,53	49,9	4715,63	471,60	262,75	86,15	1601,53	160,15	121,91	50,21
20K3	204	201	9	14	176	96	13	73,57	57,8	5602,48	549,30	308,35	87,26	1896,76	188,73	143,72	50,78
20K4	210	201	10,5	17	176	95,25	13	88,27	69,3	6962,62	663,10	376,57	88,81	2303,58	229,21	174,72	51,09
20K5	214	202	12	19	176	95	13	99,33	78	7970,40	744,90	426,84	89,58	2613,86	258,80	197,63	51,30
20K6	220	202	14	22	176	94	13	114,97	90,3	9488,15	862,60	500,34	90,84	3027,75	299,78	229,45	51,32
20K7	226	203	16	25	176	93,5	13	131,11	102,9	11136,66	985,60	578,16	92,16	3493,41	344,18	263,98	51,62
20K8	234	203	18	29	176	92,5	13	150,87	118,4	13375,48	1143,20	679,29	94,16	4053,98	399,41	306,76	51,84
25K1*	246	249	8	12	222	120,5	16	79,72	62,6	9170,92	745,60	410,68	107,26	3090,05	248,20	188,61	62,26
25K2*	250	250	9	14	222	120,5	16	92,18	72,4	10832,61	866,60	480,25	108,41	3648,81	291,90	221,88	62,92
25K3*	253	251	10	15,5	222	120,5	16	102,21	80,2	12153,56	960,80	535,41	109,05	4088,75	325,80	247,85	63,25

Продолжение табл. ПЗ.4

Про- филь	Размеры профиля, мм						Мас- са 1 м, кг	Справочные величины для осей									
	<i>h</i>	<i>b</i>	<i>t_w</i>	<i>t_f</i>	<i>h_w</i>	<i>b_{ef}</i>		<i>r</i>	<i>A</i> , см ²	<i>I_x</i> , см ⁴	<i>W_x</i> , см ³	<i>S_x</i> , см ³	<i>i_x</i> , см	<i>I_y</i> , см ⁴	<i>W_y</i> , см ³	<i>S_y</i> , см ³	<i>i_y</i> , мм
25K4	257	252	11	17,5	222	120,5	16	114,82	90,1	13927,17	1083,90	607,67	110,14	4672,01	370,79	282,18	63,79
25K5	262	253	12,5	20	222	120,25	16	131,15	102,9	16243,92	1240,00	701,07	111,29	5404,02	427,20	325,46	64,19
25K6	267	253	14	22,5	222	119,5	16	147,13	115,5	18593,24	1392,80	793,96	112,42	6080,58	480,68	366,65	64,29
25K7	274	258	16	26	222	121	16	171,88	134,9	22416,63	1636,30	942,16	114,20	7452,57	577,72	441,04	65,85
25K8	281	259	18	29,5	222	120,5	16	194,97	153	26169,72	1862,60	1083,49	115,86	8556,66	660,75	505,09	66,25
25K9	288	260	20	33	222	120	16	218,20	171,3	30128,76	2092,30	1228,96	117,51	9685,84	745,06	570,29	66,63
25K10	298	261	23	38	222	119	16	251,62	197,5	36112,37	2423,70	1442,84	119,80	11288,10	864,99	663,49	66,98
30K1*	298	299	9	14	270	145	18	110,80	87	18848,66	1265,10	694,64	130,43	6241,18	417,47	316,82	75,05
30K2*	300	300	10	15	270	145	18	119,78	94	20410,21	1360,70	750,59	130,54	6754,82	450,32	342,13	75,10
30K3*	300	305	15	15	270	145	18	134,78	105,8	21535,21	1435,70	806,84	126,40	7104,75	465,89	358,04	72,60
30K4*	304	301	11	17	270	145	18	134,82	105,8	23380,49	1538,20	852,74	131,69	7732,58	513,79	390,46	75,73
30K5	308	301	12	19	270	144,5	18	149,56	117,4	26363,00	1711,90	953,96	132,77	8642,78	574,27	436,61	76,02
30K6	312	302	13	21	270	144,5	18	164,72	129,3	29508,74	1891,60	1059,44	133,84	9648,60	638,98	485,99	76,53
30K7	316	302	14,5	23	270	143,75	18	180,85	142	32732,42	2071,70	1167,93	134,53	10569,09	699,94	533,09	76,45
30K8	316	357	14,5	23	270	171,25	18	206,15	161,8	38173,52	2416,10	1353,26	136,08	17452,10	977,71	741,49	92,01
30K9	322	358	16	26	270	171	18	232,14	182,2	43983,22	2731,90	1541,60	137,65	19896,05	1111,51	843,38	92,58
30K10	328	359	18	29	270	170,5	18	259,60	203,8	50113,53	3055,70	1738,68	138,94	22381,15	1246,86	947,13	92,85
30K11	334	360	20	32	270	170	18	287,18	225,4	56488,07	3382,60	1939,98	140,25	24906,98	1383,72	1052,25	93,13
30K12	341	361	22	35,5	270	169,5	18	318,49	250	64158,88	3763,00	2176,26	141,93	27866,02	1543,82	1175,02	93,54
30K13	350	362	24	40	270	169	18	357,18	280,4	74376,59	4250,10	2481,31	144,30	31663,84	1749,38	1332,11	94,15
30K14	356	371	27	43	270	172	18	394,74	310	83542,73	4693,40	2760,90	145,48	36649,58	1975,72	1506,68	96,36
30K15	364	372	30	47	270	171	18	433,46	340	93889,40	5158,80	3062,80	147,17	40396,22	2171,84	1659,03	96,54
30K16	374	373	33	52	270	170	18	479,80	377	107317,14	5738,90	3441,68	149,56	45068,65	2416,55	1848,28	96,92
30K17	384	374	36	57	270	169	18	526,34	413	121512,35	6328,80	3831,76	151,94	49816,72	2664,00	2040,04	97,29
30K18	396	375	39	63	270	168	18	580,58	456	139424,86	7041,70	4307,16	154,97	55520,26	2961,08	2269,45	97,79

Продолжение табл. ПЗ.4

Про- филь	Размеры профиля, мм						Мас- са 1 м, кг	Справочные величины для осей									
	h	b	t_w	t_f	h_w	b_{ef}		r	A , см ²	I_{x^0} , см ⁴	W_{x^0} , см ³	S_{x^0} , см ³	i_{x^0} , см	I_{y^0} , см ⁴	W_{y^0} , см ³	S_{y^0} , см ³	i_{y^0} , мм
30К19	408	385	43	69	270	171	18	650,18	162282,29	7955,00	4912,82	157,99	65823,93	3419,43	2622,83	100,62	
30К20	422	387	47	76	270	170	18	717,92	187072,38	8866,00	5534,78	161,42	73671,74	3807,33	2923,99	101,30	
30К21	440	389	52	85	270	168,5	18	804,48	221339,17	10060,90	6361,10	165,87	83732,22	4305,00	3311,01	102,02	
35К1*	342	348	10	15	312	169	20	139,03	31247,91	1827,40	1001,17	149,92	10542,20	605,87	459,67	87,08	
35К1,5	346	349	11	17	312	169	20	156,41	35711,24	2064,30	1135,84	151,10	12051,43	690,63	524,08	87,78	
35К2*	350	350	12	19	312	169	20	173,87	40295,10	2302,60	1272,61	152,23	13585,81	776,33	589,29	88,39	
35К3	355	351	13,5	21,5	312	168,75	20	196,48	46230,78	2604,60	1448,66	153,39	15506,80	883,58	671,24	88,84	
35К4	360	352	15	24	312	168,5	20	219,19	52353,71	2908,60	1627,80	154,55	17459,85	992,04	754,25	89,25	
35К5	365	353	16,5	26,5	312	168,25	20	242,00	58667,45	3214,70	1810,04	155,70	19445,29	1101,72	838,34	89,64	
35К6	369	360	18	28,5	312	171	20	264,79	64960,87	3521,00	1991,80	156,63	22183,46	1232,41	938,35	91,53	
35К7	376	361	20	32	312	171	20	296,87	74398,84	3957,40	2256,32	158,31	24100,27	1335,20	1060,65	90,10	
35К8	382	362	22	35	312	170	20	325,47	82894,78	4340,10	2491,96	159,59	27708,50	1530,86	1168,17	92,27	
35К9	389	363	24	38,5	312	169,5	20	357,82	93053,13	4784,30	2767,25	161,26	30738,02	1693,55	1293,57	92,68	
35К10	396	364	26,5	42	312	168,75	20	391,87	103736,95	5239,30	3054,44	162,70	33819,62	1858,22	1421,64	92,90	
35К11	404	374	29	46	312	172,5	20	437,99	118982,06	5890,30	3458,40	164,82	40183,35	2148,84	1644,63	95,78	
35К12	414	375	32	51	312	171,5	20	485,77	135721,12	6556,60	3886,58	167,15	44924,27	2395,96	1836,42	96,17	
35К13	424	376	35	56	312	170,5	20	533,75	153322,14	7232,20	4326,20	169,49	49742,07	2645,85	2030,81	96,54	
35К14	434	377	38	61	312	170	20	581,93	171810,19	7917,60	4777,34	171,83	53526,18	2839,59	2227,81	95,91	
35К15	446	378	42	67	312	168	20	640,99	195206,30	8753,70	5336,35	174,51	60526,71	3202,47	2466,48	97,17	
35К16	458	392	46	73	312	173	20	719,27	227053,18	9915,00	6094,32	177,67	73566,94	3753,42	2891,61	101,13	
35К17	472	393	50	80	312	171,5	20	788,23	258357,05	10947,40	6796,66	181,04	81286,56	4136,72	3191,54	101,55	
35К18	488	394	55	88	312	169,5	20	868,47	296560,12	12154,10	7629,66	184,79	90173,85	4577,35	3538,66	101,90	
35К19	506	395	60	97	312	167,5	20	956,93	342451,60	13535,70	8591,51	189,17	100237,83	5075,33	3929,92	102,35	
35К20	520	409	65	104	312	172	20	1056,95	392963,39	15114,00	9664,42	192,82	119352,50	5836,31	4520,43	106,26	
35К21	540	411	71	114	312	170	20	1162,03	454051,03	16816,70	10869,85	197,67	132896,30	6466,97	5017,71	106,94	

Окончание табл. ПЗ.4

Про- филь	Размеры профиля, мм							Мас- са 1 м, кг	Справочные величины для осей								
	<i>h</i>	<i>b</i>	<i>t_w</i>	<i>t_f</i>	<i>h_w</i>	<i>b_{ef}</i>	<i>r</i>		<i>A</i> , см ²	<i>I_x</i> , см ⁴	<i>W_x</i> , см ³	<i>S_x</i> , см ³	<i>i_x</i> , см	<i>I_y</i> , см ⁴	<i>W_y</i> , см ³	<i>S_y</i> , см ³	<i>i_y</i> , мм
35K22	562	413	77	125	312	168	20	1276,17	1002	526659,94	18742,40	12243,01	203,15	148011,26	7167,62	5568,89	107,69
35K23	580	426	84	134	312	171	20	1407,19	1105	606878,24	20926,90	13777,86	207,67	174271,91	8181,78	6362,61	111,29
35K24	604	430	92	146	312	169	20	1546,07	1214	704826,45	23338,70	15522,09	213,51	195579,55	9096,72	7087,61	112,47
40K1*	394	398	11	18	358	193,5	22	186,81	146,6	56145,32	2850,10	1559,22	173,36	18922,61	950,88	720,40	100,64
40K2*	400	400	13	21	358	193,5	22	218,69	171,7	66621,42	3331,20	1836,23	174,54	22412,66	1120,63	849,93	101,23
40K3*	406	403	16	24	358	193,5	22	254,87	200,1	78039,23	3844,40	2139,84	174,98	26200,17	1300,26	988,59	101,39
40K4*	414	405	18	28	358	193,5	22	295,39	231,9	92771,15	4481,80	2513,15	177,22	31026,86	1532,19	1165,56	102,49
40K4,5	420	403	20	31	358	191,5	22	325,61	255,6	103629,72	4934,80	2786,46	178,40	33850,06	1679,90	1279,67	101,96
40K5*	429	400	23	35,5	358	188,5	22	370,49	290,8	120290,28	5608,00	3198,49	180,19	37914,85	1895,74	1447,08	101,16
40K6	438	370	25	40	358	172,5	22	389,65	306	128432,36	5864,60	3381,88	181,55	33828,57	1828,57	1400,59	93,18
40K7	448	371	28	45	358	171,5	22	438,29	344	148100,17	6611,70	3848,78	183,82	38379,65	2068,98	1587,47	93,58
40K8	458	372	31	50	358	170,5	22	487,13	382	168699,39	7366,90	4327,20	186,09	43005,92	2312,15	1777,05	93,96
40K9	470	373	35	56	358	169	22	547,21	430	194740,02	8286,90	4920,70	188,65	48584,92	2605,09	2007,28	94,23
40K10	484	374	39	63	358	167,5	22	615,01	483	226537,97	9361,10	5620,76	191,92	55131,73	2948,22	2276,18	94,68
40K11	494	392	43	68	358	174,5	22	691,21	543	261626,64	10592,20	6402,77	194,55	68534,67	3496,67	2700,52	99,57
40K12	510	393	48	76	358	172,5	22	773,35	607	303779,07	11913,00	7286,50	198,19	77250,07	3931,30	3043,64	99,94
40K13	528	394	53	85	358	170,5	22	863,69	678	354176,41	13415,80	8303,29	202,50	87133,40	4423,02	3430,99	100,44
40K14	548	395	59	95	358	168	22	965,87	758	414486,61	15127,30	9480,79	207,15	98243,25	4974,34	3868,52	100,85
40K15	564	410	65	103	358	172,5	22	1081,45	849	482318,03	17103,50	10811,51	211,18	119192,53	5814,27	4525,42	104,98
40K16	588	412	72	115	358	170	22	1209,51	949	569246,81	19362,20	12395,01	216,94	135224,94	6564,32	5120,62	105,74
40K17	616	414	80	129	358	167	22	1358,67	1067	679972,85	22077,10	14322,16	223,71	154171,55	7447,90	5823,25	106,52
40K18	638	430	87	140	358	171,5	22	1519,61	1193	800682,18	25099,80	16419,75	229,54	187578,94	8724,60	6820,27	111,10
40K19	668	435	96	155	358	169,5	22	1696,33	1332	952172,59	28508,20	18868,64	236,92	215398,07	9903,36	7755,88	112,68

Примечание. Профили, помеченные знаком *, по размерам и геометрическим характеристикам полностью соответствуют аналогичным профилям по СТО АСЧМ 20–93 «Двутавры горячекатаные с параллельными гранями полок. Технические условия».

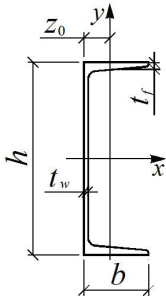


Таблица ПЗ.5

**Сортамент горячекатаных швеллеров
по ГОСТ 8240–97**

Про- филь	Размеры профиля, мм				Мас- са 1 м, кг	Геометрические характеристики сечения								
	h	b	t_w	t_f		A , см ²	I_x , см ⁴	W_{x^3} , см ³	S_{x^3} , см ³	i_x , см	I_y , см ⁴	W_{y^3} , см ³	i_y , см	z_0 , см
5	50	32	4,4	7	4,84	6,16	22,8	9,1	5,59	1,92	5,61	2,75	0,954	1,16
6,5	65	36	4,4	7,2	5,9	7,51	48,6	15	9	2,54	8,7	3,68	1,08	1,24
8	80	40	4,5	7,4	7,05	8,98	89,4	22,4	13,3	3,16	12,8	4,75	1,19	1,31
10	100	46	4,5	7,6	8,56	10,9	174	34,8	20,4	3,99	20,4	6,46	1,37	1,44
12	120	52	4,8	7,8	10,4	13,3	304	50,6	29,6	4,78	31,2	8,52	1,53	1,54
14	140	58	4,9	8,1	12,3	15,6	491	70,2	40,8	5,6	45,4	11	1,7	1,67
16	160	64	5	8,4	14,2	18,1	747	93,4	54,1	6,42	63,3	13,8	1,87	1,8
16 а	160	68	5	9	15,3	19,5	823	103	59,4	6,49	78,8	16,4	2,01	2
18	180	70	5,1	8,7	16,3	20,7	1090	121	69,8	7,24	86	17	2,04	1,94
18 а	180	74	5,1	9,3	17,4	22,2	1190	132	76,1	7,32	106	20	2,18	2,13
20	200	76	5,2	9	18,4	23,4	1520	152	87,8	8,07	113	20,5	2,2	2,07
22	220	82	5,4	9,5	21	26,7	2110	192	110	8,89	151	25,1	2,37	2,21
24	240	90	5,6	10	24	30,6	2900	242	139	9,73	208	31,6	2,6	2,42
27	270	95	6	10,5	27,7	35,2	4160	308	178	10,9	262	37,3	2,73	2,47
30	300	100	6,5	11	31,8	40,5	5810	387	224	12	327	43,6	2,84	2,52
33	330	105	7	11,7	36,5	46,5	7980	484	281	13,1	410	51,8	2,97	2,59
36	360	110	7,5	12,6	41,9	53,4	10820	601	350	14,2	513	61,7	3,1	2,68
40	400	115	8	13,5	48,3	61,5	15220	761	444	15,7	642	73,4	3,23	2,75

Таблица ПЗ.6

Прокат стальной горячекатаный широкополосный универсальный по ГОСТ 82–70

Толщина, мм	6, 7*, 8, 9*, 10, 11*, 12, 14, 16, 18, 20, 22, 25, 28, 30, 32, 36, 40, 45*, 50*, 55*, 60*
Ширина, мм	200, 210, 220, 240, 250, 260, 280, 300, 320, 340, 360, 380, 400, 420, 450, 460, 480, 500, 520, 530, 560, 600, 630, 650, 670, 700, 750, 800, 850, 900, 950, 1000, 1050
Длина, м	От 5 до 12 (по требованию потребителя от 2 до 18 м)

Примечание. Листы толщиной, отмеченной (*), выпускаются под заказ.

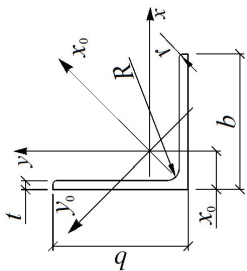


Таблица ПЗ.7

Сортамент равнополочных уголков по ГОСТ 8509—93

Номер уголка	b	t	R	r	A, см ²	Справочные значения величин для осей										Мас- са 1 м, кг		
						x						x ₀		y ₀				
						I _x , см ⁴	W _x , см ³	i _x , см	I _{x0 max} см ⁴	i _{x0 max} см	I _{y0} , см ⁴	W _{y0} , см ³	i _{y0} , см	I _{xy} , см ⁴	x ₀ , см		I _{xy} , см ⁴	
5	50	4	5,5	1,8	3,89	9,21	2,54	1,54	14,63	1,94	3,80	1,95	0,99	5,42	1,38	3,05		
		5	5,5	1,8	4,80	11,20	3,13	1,53	17,77	1,92	4,63	2,30	0,98	6,57	1,42	3,77		
		6	5,5	1,8	5,69	13,07	3,69	1,52	20,72	1,91	5,43	2,63	0,98	7,65	1,46	4,47		
5,6	56	4	6,0	2,0	4,38	13,10	3,21	1,73	20,79	2,18	5,41	2,52	1,11	7,69	1,52	3,44		
		5	6,0	2,0	5,41	15,97	3,96	1,72	25,36	2,16	6,59	2,97	1,10	9,41	1,57	4,25		
6,3	63	4	7,0	2,3	4,96	18,86	4,09	1,95	29,90	2,45	7,81	3,26	1,25	11,00	1,69	3,90		
		5	7,0	2,3	6,13	23,10	5,05	1,94	36,80	2,44	9,52	3,87	1,25	13,70	1,74	4,81		
		6	7,0	2,3	7,28	27,06	5,98	1,93	42,91	2,43	11,18	4,44	1,24	15,90	1,78	5,72		
7	70	4,5	8,0	2,7	6,20	29,04	5,67	2,16	46,03	2,72	12,04	4,53	1,39	17,00	1,88	4,87		
		5	8,0	2,7	6,86	31,94	6,27	2,16	50,67	2,72	13,22	4,92	1,39	18,70	1,90	5,38		
		6	8,0	2,7	8,15	37,58	7,43	2,15	59,64	2,71	15,52	5,66	1,38	22,10	1,94	6,39		
7,5	75	7	8,0	2,7	9,42	42,98	8,57	2,14	68,19	2,69	17,77	6,31	1,37	25,20	1,99	7,39		
		8	8,0	2,7	10,67	48,16	9,68	2,12	76,35	2,68	19,97	6,99	1,37	28,20	2,02	8,37		
		5	9,0	3,0	7,39	39,53	7,21	2,31	62,65	2,91	16,41	5,74	1,49	23,10	2,02	5,80		
7,5	75	6	9,0	3,0	8,78	46,57	8,57	2,30	73,87	2,90	19,28	6,62	1,48	27,30	2,06	6,89		
		7	9,0	3,0	10,15	53,34	9,89	2,29	84,61	2,89	22,07	7,43	1,47	31,20	2,10	7,96		

Продолжение табл. ПЗ.7

Номер уголка	b	t	R	r	A, см ²	Справочные значения величин для осей										Мас- са 1 м, кг		
						x					x ₀		y ₀				I _{xy} , см ⁴	x ₀ , см
						I _x , см ⁴	W _x , см ³	i _x , см	I _{x0 max} , см ⁴	i _{x0 max} , см	I _{y0} , см ⁴	W _{y0} , см ³	i _{y0} , см					
7,5	75	8	9,0	3,0	11,50	59,84	11,18	2,28	94,89	2,87	24,80	8,16	1,47	35,00	2,15	9,02		
		9	9,0	3,0	12,83	66,10	12,43	2,27	104,72	2,86	27,48	8,91	1,46	38,60	2,18	10,07		
		5,5	9,0	3,0	8,63	52,68	9,03	2,47	83,56	3,11	21,80	7,10	1,59	30,90	2,17	6,78		
8	80	6	9,0	3,0	9,38	56,97	9,80	2,47	90,40	3,11	23,54	7,60	1,58	33,40	2,19	7,36		
		7	9,0	3,0	10,85	65,31	11,32	2,45	103,60	3,09	26,97	8,55	1,58	38,30	2,23	8,51		
		8	9,0	3,0	12,30	73,36	12,80	2,44	116,39	3,08	30,32	9,44	1,57	43,00	2,27	9,65		
9	90	6	10,0	3,3	10,61	82,10	12,49	2,78	130,00	3,50	33,97	9,88	1,79	48,10	2,43	8,33		
		7	10,0	3,3	12,28	94,30	14,45	2,77	149,67	3,49	38,94	11,15	1,78	55,40	2,47	9,64		
		8	10,0	3,3	13,93	106,11	16,36	2,76	168,42	3,48	43,80	12,34	1,77	62,30	2,51	10,93		
		9	10,0	3,3	15,60	118,00	18,29	2,75	186,00	3,46	48,60	13,48	1,77	68,00	2,55	12,20		
		6,5	12,0	4,0	12,82	122,10	16,69	3,09	193,46	3,89	50,73	13,38	1,99	71,40	2,68	10,06		
		7	12,0	4,0	13,75	130,59	17,90	3,08	207,01	3,88	54,16	14,13	1,98	76,40	2,71	10,79		
10	100	8	12,0	4,0	15,60	147,19	20,30	3,07	233,46	3,87	60,92	15,66	1,98	86,30	2,75	12,25		
		10	12,0	4,0	19,24	178,95	24,97	3,05	283,83	3,84	74,08	18,51	1,96	110,00	2,83	15,10		
		12	12,0	4,0	22,80	208,90	29,47	3,03	330,95	3,81	86,84	21,10	1,95	122,00	2,91	17,90		
		14	12,0	4,0	26,28	237,15	33,83	3,00	374,98	3,78	99,32	23,49	1,94	138,00	2,99	20,63		
		16	12,0	4,0	29,68	263,82	38,04	2,98	416,04	3,74	111,61	25,79	1,94	152,00	3,06	23,30		
		7	12,0	4,0	15,15	175,61	21,83	3,40	278,54	4,29	72,68	17,36	2,19	106,00	2,96	11,89		
11	110	8	12,0	4,0	17,20	198,17	24,77	3,39	314,51	4,28	81,83	19,29	2,18	116,00	3,00	13,50		
		8	14,0	4,6	19,69	294,36	32,20	3,87	466,76	4,87	121,98	25,67	2,49	172,00	3,36	15,46		
		9	14,0	4,6	22,00	327,48	36,00	3,86	520,00	4,86	135,88	28,26	2,48	192,00	3,40	17,30		
12,5		10	14,0	4,6	24,33	359,82	39,74	3,85	571,04	4,84	148,59	30,45	2,47	211,00	3,45	19,10		

Продолжение табл. ПЗ.7

Номер углка	b	t	R	r	A, см ²	Справочные значения величин для осей										Мас- са 1 м, кг	
						x				x ₀		y ₀			I _{xy} , см ⁴		x ₀ , см
						I _x , см ⁴	W _x , см ³	i _x , см	I _{x0 max} , см ⁴	i _{x0 max} , см	I _{y0} , см ⁴	W _{y0} , см ³	i _{y0} , см				
12,5	125	12	14,0	4,6	28,89	422,23	47,06	3,82	670,02	4,82	174,43	34,94	2,46	248,00	3,53	22,68	
		14	14,0	4,6	33,37	481,76	54,17	3,80	763,90	4,78	199,62	39,10	2,45	282,00	3,61	26,20	
		16	14,0	4,6	37,77	538,56	61,09	3,78	852,84	4,75	224,29	43,10	2,44	315,00	3,68	29,65	
14	140	9	14,0	4,6	24,72	465,72	45,55	4,34	739,42	5,47	192,03	35,92	2,79	274,00	3,76	19,41	
		10	14,0	4,6	27,33	512,29	50,32	4,33	813,62	5,46	210,96	39,05	2,78	301,00	3,82	21,45	
		12	14,0	4,6	32,49	602,49	59,66	4,31	956,98	5,43	248,01	44,97	2,76	354,00	3,90	25,50	
16	160	10	16,0	5,3	31,43	774,24	66,19	4,96	1229,10	6,25	319,33	52,52	3,19	455,00	4,30	24,67	
		11	16,0	5,3	34,42	844,21	72,44	4,95	1340,06	6,24	347,77	56,53	3,18	496,00	4,35	27,02	
		12	16,0	5,3	37,39	912,89	78,62	4,94	1450,00	6,23	375,78	60,53	3,17	537,00	4,39	29,35	
18	180	14	16,0	5,3	43,57	1046,47	90,77	4,92	1662,13	6,20	430,81	68,15	3,16	615,00	4,47	34,20	
		16	16,0	5,3	49,07	1175,19	102,64	4,89	1865,73	6,17	484,64	75,92	3,14	690,00	4,55	38,52	
		18	16,0	5,3	54,79	1290,24	114,24	4,87	2061,03	6,13	537,46	82,08	3,13	771,00	4,63	43,01	
20	200	20	16,0	5,3	60,40	1418,85	125,60	4,85	2248,26	6,10	589,43	90,02	3,12	830,00	4,70	47,41	
		11	16,0	5,3	38,80	1216,44	92,47	5,60	1933,10	7,06	499,78	72,86	3,59	716,00	4,85	30,47	
		12	16,0	5,3	42,19	1316,62	100,41	5,59	2092,78	7,04	540,45	78,15	3,58	776,00	4,89	33,12	
20	200	12	18,0	6,0	47,10	1822,78	124,61	6,22	2896,16	7,84	749,40	98,68	3,99	1073,00	5,37	36,97	
		13	18,0	6,0	50,85	1960,77	134,44	6,21	3116,18	7,83	805,35	105,07	3,98	1156,00	5,42	39,92	
		14	18,0	6,0	54,60	2097,00	144,17	6,20	3333,00	7,81	861,00	111,50	3,97	1236,00	5,46	42,80	
20	200	16	18,0	6,0	61,98	2362,57	163,37	6,17	3755,39	7,78	969,74	123,77	3,96	1393,00	5,54	48,65	
		20	18,0	6,0	76,54	2871,47	200,37	6,12	4860,42	7,72	1181,92	146,62	3,93	1689,00	5,70	60,08	
		25	18,0	6,0	94,29	3466,21	245,59	6,06	5494,04	7,63	1438,38	172,68	3,91	2028,00	5,89	74,02	
20	200	30	18,0	6,0	111,54	4019,60	288,57	6,00	6351,05	7,55	1698,16	193,06	3,89	2332,00	6,07	87,56	

Окончание табл. ПЗ.7

Номер уголка	b	t	R	r	A, см ²	Справочные значения величин для осей										Мас- са 1 м, кг
						x				x ₀		y ₀				
						I _x , см ⁴	W _x , см ³	i _x , см	I _{x0} max, см ⁴	i _{x0} max, см	I _{y0} , см ⁴	W _{y0} , см ³	i _{y0} , см	I _{xy} , см ⁴	x ₀ , см	
22	220	14	21,0	7,0	60,38	2814,36	175,18	6,83	4470,15	8,60	1158,56	138,62	4,38	1655,00	5,91	47,40
		16	21,0	7,0	68,58	3175,44	198,71	6,80	5045,37	8,58	1305,52	153,34	4,36	1869,00	6,02	53,83
		16	24,0	8,0	78,40	4717,10	258,43	7,76	7492,10	9,78	1942,09	203,45	4,98	2775,00	6,75	61,55
		18	24,0	8,0	87,72	5247,24	288,82	7,73	8336,69	9,75	2157,78	223,39	4,96	3089,00	6,83	68,86
25	250	20	24,0	8,0	96,96	5764,87	318,76	7,71	9159,73	9,72	2370,01	242,52	4,94	3395,00	6,91	76,11
		22	24,0	8,0	106,12	6270,32	348,26	7,69	9961,30	9,69	2579,04	260,52	4,93	3691,00	7,00	83,31
		25	24,0	8,0	119,71	7006,39	391,72	7,65	11125,52	9,64	2887,26	287,14	4,91	4119,00	7,11	93,97
		28	24,0	8,0	133,12	7716,86	434,25	7,61	12243,84	9,59	3189,89	311,98	4,90	4527,00	7,23	104,50
		30	24,0	8,0	141,96	8176,82	462,11	7,59	12964,66	9,56	3388,98	327,82	4,89	4788,00	7,31	111,44
		35	24,0	8,0	163,71	9281,05	530,11	7,53	14682,73	9,47	3879,37	366,13	4,87	5401,68	7,53	128,51

Окончание табл. ПЗ.8

Номер уголка	мм					A, см ²	Справочные величины для осей										x ₀ см	y ₀ см	I _{xy} , см ⁴	tg α	Масса 1 м уголка, кг
							x			y			и								
							I _x , см ⁴	W _x , см ³	i _x , см	I _y , см ⁴	W _y , см ³	i _y , см	I _ω , см ⁴	W _ω , см ³	i _ω , см						
10/6,3						9,58	98,29	14,52	3,20	30,58	6,27	1,79	18,20	5,27	1,38	1,42	3,23	31,50	0,393	7,53	
					—	11,09	112,86	16,78	3,19	34,99	7,23	1,78	20,83	6,06	1,37	1,46	3,28	36,10	0,392	8,70	
	100	63				12,57	126,96	19,01	3,18	39,21	8,17	1,77	23,38	6,82	1,36	1,50	3,32	40,50	0,391	9,87	
		10				15,47	153,95	23,32	3,15	47,18	9,99	1,75	28,34	8,31	1,35	1,58	3,40	48,60	0,387	12,14	
10/6,5*			7			11,23	114,05	16,87	3,19	38,32	7,70	1,85	22,77	6,43	1,41	1,52	3,24	38,00	0,415	8,81	
			8	10,0	3,3	12,73	128,31	19,11	3,18	42,96	8,70	1,84	25,24	7,26	1,41	1,56	3,28	42,64	0,414	9,99	
			10			15,67	155,52	23,45	3,15	51,68	10,64	1,82	30,60	8,83	1,40	1,64	3,37	51,18	0,410	12,30	
						11,45	142,42	19,11	3,53	45,61	8,42	2,00	26,94	7,05	1,53	1,58	3,55	46,80	0,402	8,98	
11/7	110	70	6,5		—	13,93	171,54	23,22	3,51	54,64	10,20	1,98	32,31	8,50	1,52	1,64	3,61	55,90	0,400	10,93	
			7			14,06	226,53	26,67	4,01	73,73	11,89	2,29	43,40	9,96	1,76	1,80	4,01	74,70	0,407	11,04	
12,5/8			8	11,0	3,7	15,98	225,62	30,26	4,00	80,95	13,47	2,28	48,82	11,25	1,75	1,84	4,05	84,10	0,406	12,53	
	125	60	10			19,70	311,61	37,27	3,98	100,47	16,52	2,26	59,33	13,74	1,74	1,92	4,14	102,00	0,404	15,47	
			12			23,36	364,79	44,07	3,95	116,84	19,46	2,24	69,47	16,11	1,72	2,00	4,22	118,00	0,400	18,34	
						18,00	363,68	38,25	4,49	119,79	17,19	2,58	70,27	14,39	1,58	2,03	4,49	121,00	0,411	4,13	
14/9	140	90	10	12,0	4,0	22,24	444,45	47,19	4,47	145,54	21,14	2,58	85,51	17,58	1,96	2,12	4,58	147,00	0,400	17,46	
			9			22,87	605,97	56,04	5,15	186,03	23,96	2,85	110,40	20,01	2,20	2,24	5,19	194,00	0,391	17,96	
			10			25,28	666,59	61,91	5,13	204,09	26,42	2,84	121,16	22,02	2,19	2,28	5,23	213,00	0,390	19,85	
	160	100	12	13,0	4,3	30,04	784,22	73,42	5,11	238,75	31,23	2,82	142,14	25,93	2,18	2,36	5,32	249,00	0,388	23,58	
16/10			14			34,72	897,19	84,65	5,08	271,60	35,89	2,80	162,49	29,75	2,16	2,43	5,40	282,00	0,385	27,26	
						28,33	952,28	78,59	5,80	276,37	32,27	3,12	165,44	26,96	2,42	2,44	5,83	295,00	0,376	22,20	
	180	110	12		—	33,69	1122,56	93,33	5,77	324,09	38,20	3,10	194,28	31,83	2,40	2,52	5,97	348,00	0,374	26,40	
						34,87	1449,02	107,31	6,45	446,36	45,98	3,58	263,84	38,27	2,75	2,79	6,50	465,00	0,392	27,37	
20/12,5			11			37,89	1568,19	116,51	6,43	481,93	49,85	3,57	285,04	41,45	2,74	2,83	6,54	503,00	0,392	29,74	
	200	125	12	14,0	4,7	43,87	1800,83	134,64	6,41	550,77	57,43	3,54	326,54	47,57	2,73	2,91	6,62	575,00	0,390	34,43	
			14			49,77	2026,08	152,41	6,38	616,66	64,83	3,52	366,99	53,56	2,72	2,99	6,71	643,00	0,388	39,07	
			16																		

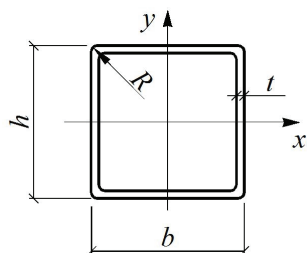


Таблица П3.9

**Сортамент стальных гнутых замкнутых сварных квадратных профилей
по ГОСТ 30245–2003**

<i>h</i>	<i>b</i>	<i>t</i>	Площадь поперечного сечения <i>A</i> , см ²	Справочные величины для осей <i>x</i> , <i>y</i>			Масса 1 м, кг
				<i>I_x</i> , <i>I_y</i> , см ⁴	<i>W_x</i> , <i>W_y</i> , см ³	<i>i_x</i> , <i>i_y</i> , см	
50	50	3,0	5,41	19,45	7,78	1,90	4,25
		3,5	6,19	21,70	8,68	1,87	4,86
		4,0	6,95	23,70	9,48	1,85	5,45
		4,5	7,67	25,45	10,19	1,82	6,02
		5,0	8,36	26,98	10,79	1,80	6,56
		5,5	9,01	28,27	11,31	1,77	7,07
		6,0	9,63	29,36	11,74	1,75	7,56
60	60	3,0	6,61	35,11	11,70	2,31	5,19
		3,5	7,59	39,50	13,17	2,28	5,96
		4,0	8,55	43,50	14,50	2,26	6,71
		4,5	9,47	47,14	15,71	2,23	7,43
		5,0	10,36	50,41	16,80	2,21	8,13
		5,5	11,21	53,34	17,78	2,18	8,80
		6,0	12,03	55,94	18,65	2,16	9,45
70	70	4,0	10,15	72,06	20,59	2,66	7,97
		4,5	11,27	78,55	22,44	2,64	8,85
		5,0	12,36	84,52	24,15	2,62	9,70
		5,5	13,41	90,01	25,72	2,59	10,53
		6,0	14,43	95,01	27,14	2,57	11,33
		6,5	15,06	95,11	27,17	2,51	11,82
		7,0	15,96	98,50	28,14	2,48	12,53
80	80	4,0	11,75	111,0	27,74	3,07	9,22
		4,5	13,07	121,5	30,37	3,05	10,26
		5,0	14,36	131,3	32,83	3,02	11,27
		5,5	15,61	140,5	35,12	3,00	12,25
		6,0	16,83	149,0	37,24	2,97	13,21
		6,5	17,66	151,0	37,76	2,92	13,86

Продолжение табл. ПЗ.9

h	b	t	Площадь попе- речного сечения $A, \text{см}^2$	Справочные величины для осей x, y			Масса 1 м, кг
мм				$I_x, I_y, \text{см}^4$	$W_x, W_y, \text{см}^3$	$i_x, i_y, \text{см}$	
80	80	7,0	18,76	157,4	39,34	2,90	14,72
		7,5	19,82	163,0	40,76	2,87	15,56
		8,0	20,84	168,0	42,01	2,84	16,36
90	90	4,0	13,35	161,8	35,96	3,48	10,48
		4,5	14,87	177,8	39,50	3,46	11,67
		5,0	16,36	192,8	42,84	3,43	12,84
		5,5	17,81	206,9	45,99	3,41	13,98
		6,0	19,23	220,2	48,94	3,38	15,10
		6,5	20,26	225,3	50,07	3,34	15,90
		7,0	21,56	235,8	52,40	3,31	16,92
		7,5	22,82	245,4	54,54	3,28	17,91
		8,0	24,04	254,2	56,48	3,25	18,87
		3,0	11,41	177,0	35,40	3,94	8,96
100	100	4,5	16,67	247,5	49,50	3,85	13,08
		5,0	18,36	270,9	54,19	3,84	14,41
		5,5	20,01	291,6	58,32	3,82	15,71
		6,0	21,63	311,2	62,24	3,79	16,98
		6,5	22,86	320,6	64,12	3,75	17,94
		7,0	24,36	336,7	67,33	3,72	19,12
		7,5	25,82	351,6	70,32	3,69	20,27
		8,0	27,24	365,4	73,09	3,66	21,39
120	120	4,0	18,15	402,2	67,03	4,71	14,25
		4,5	20,27	444,5	74,09	4,68	15,91
		5,0	22,36	485,3	80,88	4,66	17,55
		5,5	24,41	524,3	87,39	4,63	19,16
		6,0	26,43	561,8	93,64	4,61	20,75
		6,5	28,06	584,6	97,43	4,56	22,03
		7,0	29,96	616,8	102,8	4,54	23,52
		7,5	31,82	647,3	107,9	4,51	24,98
		8,0	33,64	676,2	112,7	4,48	26,41
140	140	5,0	26,36	790,3	112,9	5,48	20,69
		5,5	28,81	856,3	122,3	5,45	22,62
		6,0	31,23	920,0	131,4	5,43	24,52
		6,5	33,26	963,6	137,7	5,38	26,11
		7,0	35,56	1020	145,7	5,36	27,91
		7,5	37,82	1074	153,5	5,33	29,69
		8,0	40,04	1126	160,8	5,30	31,43

Продолжение табл. П3.9

h	b	t	Площадь попе- речного сечения $A, \text{см}^2$	Справочные величины для осей x, y			Масса 1 м, кг
мм				$I_x, I_y, \text{см}^4$	$W_x, W_y, \text{см}^3$	$i_x, i_y, \text{см}$	
150	150	5,0	28,36	981,8	130,9	5,88	22,26
		5,5	31,01	1065	142,0	5,86	24,34
		6,0	33,63	1145	152,7	5,84	26,40
		6,5	35,86	1203	160,4	5,79	28,15
		7,0	38,36	1275	170,0	5,77	30,11
		7,5	40,82	1344	179,2	5,74	32,04
		8,0	43,24	1411	188,1	5,71	33,95
160	160	5,0	30,36	1202	150,3	6,29	23,83
		5,5	33,21	1305	163,1	6,27	26,07
		6,0	36,03	1405	175,6	6,24	28,29
		6,5	38,46	1479	184,8	6,20	30,19
		7,0	41,16	1569	196,1	6,17	32,31
		7,5	43,82	1656	207,0	6,15	34,40
		8,0	46,44	1740	217,5	6,12	36,46
180	180	5,0	34,36	1737	192,9	7,11	26,97
		5,5	37,61	1888	209,8	7,09	29,52
		6,0	40,83	2036	226,2	7,06	32,05
		6,5	43,66	2150	238,9	7,02	34,27
		7,0	46,76	2286	254,0	6,99	36,70
		7,5	49,82	2417	268,6	6,97	39,11
		8,0	52,84	2545	282,7	6,94	41,48
		8,5	55,83	2668	296,5	6,91	43,83
		9,0	58,78	2787	309,7	6,89	46,14
		9,5	61,69	2903	322,6	6,86	48,43
		10,0	64,57	3015	335,0	6,83	50,68
200	200	6,0	45,63	2832	283,2	7,88	35,82
		6,5	48,86	3000	300,0	7,84	38,35
		7,0	52,36	3193	319,3	7,81	41,10
		7,5	55,82	3382	338,2	7,78	43,82
		8,0	59,24	3565	356,5	7,76	46,51
		8,5	62,63	3743	374,3	7,73	49,16
		9,0	65,98	3917	391,7	7,70	51,79
		9,5	69,29	4085	408,5	7,68	54,39
		10,0	72,57	4249	424,9	7,65	56,96
		10,5	74,86	4309	430,9	7,59	58,76
		11,0	77,97	4454	445,4	7,56	61,20

Окончание табл. ПЗ.9

h	b	t	Площадь попе- речного сечения $A, \text{см}^2$	Справочные величины для осей x, y			Масса 1 м, кг
мм				$I_x, I_y, \text{см}^4$	$W_x, W_y, \text{см}^3$	$i_x, i_y, \text{см}$	
200	200	11,5	81,03	4593	459,3	7,53	63,61
		12,0	84,06	4727	472,7	7,50	65,99
250	250	6,0	57,63	5671	453,7	9,92	45,24
		6,5	61,86	6036	482,9	9,88	48,56
		7,0	66,36	6441	515,3	9,85	52,09
		7,5	70,82	6838	547,1	9,83	55,59
		8,0	75,24	7227	578,2	9,80	59,07
		8,5	79,63	7608	608,7	9,77	62,51
		9,0	83,98	7981	638,5	9,75	65,92
		9,5	88,29	8346	667,7	9,72	69,31
		10,0	92,57	8703	696,3	9,70	72,66
		10,5	95,86	8900	712,0	9,64	75,25
		11,0	99,97	9227	738,1	9,61	78,47
		11,5	104,0	9545	763,6	9,58	81,67
		12,0	108,1	9854	788,3	9,55	84,83
300	300	6,0	69,63	9963	664,2	11,96	54,66
		6,5	74,86	10637	709,1	11,92	58,76
		7,0	80,36	11370	758,0	11,89	63,08
		7,5	85,82	12090	806,0	11,87	67,37
		8,0	91,24	12798	853,2	11,84	71,63
		8,5	96,63	13495	899,7	11,82	75,85
		9,0	102,0	14180	945,3	11,79	80,05
		9,5	107,3	14853	990,2	11,77	84,22
		10,0	112,6	15515	1034	11,74	88,36
		10,5	116,9	15947	1063	11,68	91,73
		11,0	122,0	16564	1104	11,65	95,74
		11,5	127,0	17168	1145	11,63	99,72
		12,0	132,1	17761	1184	11,60	103,7

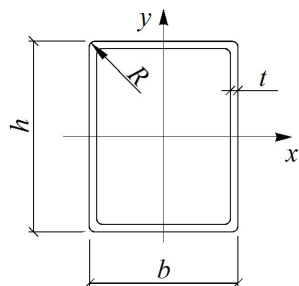


Таблица ПЗ.10

**Сортамент стальных гнутых замкнутых сварных прямоугольных профилей
по ГОСТ 30245–2003**

h	b	t	Площадь поперечного сечения A , см ²	Справочные значения величин для осей						Мас- са 1 м, кг
мм				x			y			
				I_x , см ⁴	W_x , см ³	i_x , см	I_y , см ⁴	W_y , см ³	i_y , см	
50	40	3,0	4,81	16,14	6,45	1,83	11,36	5,68	1,54	3,77
		3,5	5,49	17,92	7,17	1,81	12,59	6,29	1,51	4,31
		4,0	6,15	19,47	7,79	1,78	13,64	6,82	1,49	4,83
		4,5	6,77	20,80	8,32	1,75	14,54	7,27	1,47	5,31
		5,0	7,36	21,91	8,77	1,73	15,28	7,64	1,44	5,77
60	30	3,0	4,81	20,49	6,83	2,06	6,78	4,52	1,19	3,77
		3,5	5,49	22,74	7,58	2,03	7,45	4,97	1,16	4,31
		4,0	6,15	24,69	8,23	2,00	8,01	5,34	1,14	4,83
		4,5	6,77	26,34	8,78	1,97	8,47	5,64	1,12	5,31
		5,0	7,36	27,72	9,24	1,94	8,83	5,88	1,10	5,77
		5,5	7,91	28,84	9,61	1,91	9,10	6,06	1,07	6,21
6,0	8,43	29,69	9,90	1,88	9,28	6,19	1,05	6,62		
60	40	3,0	5,41	25,37	8,46	2,17	13,42	6,71	1,58	4,25
		3,5	6,19	28,33	9,44	2,14	14,92	7,46	1,55	4,86
		4,0	6,95	30,96	10,32	2,11	16,23	8,12	1,53	5,45
		4,5	7,67	33,28	11,09	2,08	17,37	8,69	1,51	6,02
		5,0	8,36	35,29	11,76	2,05	18,34	9,17	1,48	6,56
		5,5	9,01	37,00	12,33	2,03	19,16	9,58	1,46	7,07
		6,0	9,63	38,44	12,81	2,00	19,82	9,91	1,43	7,56
70	50	4,0	8,55	54,64	15,61	2,53	32,16	12,87	1,94	6,71
		4,5	9,47	59,24	16,93	2,50	34,77	13,91	1,92	7,43
		5,0	10,36	63,40	18,11	2,47	37,10	14,84	1,89	8,13
		5,5	11,21	67,12	19,18	2,45	39,17	15,67	1,87	8,80
		6,0	12,03	70,43	20,12	2,42	40,98	16,39	1,85	9,45
80	60	4,0	10,15	87,87	21,97	2,94	56,05	18,68	2,35	7,97
		4,5	11,27	95,84	23,96	2,92	61,00	20,33	2,33	8,85

Продолжение табл. ПЗ.10

h	b	t	Площадь поперечного сечения A , см ²	Справочные значения величин для осей						Мас- са 1 м, кг
мм				x			y			
				I_x , см ⁴	W_x , см ³	i_x , см	I_y , см ⁴	W_y , см ³	i_y , см	
80	60	5,0	12,36	103,2	25,80	2,89	65,54	21,85	2,30	9,70
		5,5	13,41	109,9	27,49	2,86	69,68	23,23	2,28	10,53
		6,0	14,43	116,1	29,03	2,84	73,43	24,48	2,26	11,33
		6,5	15,06	115,9	28,98	2,77	73,58	24,53	2,21	11,82
		7,0	15,96	120,1	30,01	2,74	76,10	25,37	2,18	12,53
80	70	4,0	10,95	99,42	24,86	3,01	80,77	23,08	2,72	8,59
		4,5	12,17	108,7	27,17	2,99	88,20	25,20	2,69	9,55
		5,0	13,36	117,3	29,31	2,96	95,09	27,17	2,67	10,48
		5,5	14,51	125,2	31,30	2,94	101,5	28,98	2,64	11,39
		6,0	15,63	132,5	33,14	2,91	107,3	30,66	2,62	12,27
		6,5	16,36	133,5	33,37	2,86	108,2	30,92	2,57	12,84
90	50	7,0	17,36	138,7	34,68	2,83	112,4	32,11	2,54	13,63
		4,0	10,15	102,7	22,82	3,18	40,63	16,25	2,00	7,97
		4,5	11,27	112,0	24,88	3,15	44,09	17,63	1,98	8,85
		5,0	12,36	120,5	26,79	3,12	47,23	18,89	1,95	9,70
		5,5	13,41	128,4	28,53	3,09	50,06	20,02	1,93	10,53
		6,0	14,43	135,6	30,13	3,06	52,59	21,04	1,91	11,33
		6,5	15,06	134,7	29,93	2,99	52,62	21,05	1,87	11,82
90	60	7,0	15,96	139,4	30,97	2,96	54,27	21,71	1,84	12,53
		4,0	10,95	117,5	26,10	3,28	62,32	20,77	2,39	8,59
		4,5	12,17	128,4	28,54	3,25	67,93	22,64	2,36	9,55
		5,0	13,36	138,6	30,80	3,22	73,10	24,37	2,34	10,48
		5,5	14,51	148,0	32,90	3,19	77,84	25,95	2,32	11,39
		6,0	15,63	156,7	34,83	3,17	82,18	27,39	2,29	12,27
100	50	6,5	16,36	163,5	36,33	3,07	85,93	28,64	2,23	13,63
		4,0	10,95	134,1	26,82	3,50	44,86	17,94	2,02	8,59
		4,5	12,17	146,6	29,31	3,47	48,74	19,50	2,00	9,55
		5,0	13,36	158,1	31,62	3,44	52,29	20,92	1,98	10,48
		5,5	14,51	168,8	33,76	3,41	55,50	22,20	1,96	11,39
		6,0	15,63	178,7	35,73	3,38	58,40	23,36	1,93	12,27
		6,5	16,36	178,6	35,71	3,30	58,77	23,51	1,90	12,84
100	60	7,0	17,36	185,3	37,06	3,27	60,74	24,29	1,87	13,63
		4,0	11,75	152,5	30,51	3,60	68,59	22,86	2,42	9,22
		4,5	13,07	167,1	33,42	3,58	74,86	24,95	2,39	10,26
		5,0	14,36	180,7	36,14	3,55	80,66	26,89	2,37	11,27

Продолжение табл. ПЗ.10

h	b	t	Площадь поперечного сечения A , см ²	Справочные значения величин для осей						Мас- са 1 м, кг
мм				x			y			
				I_x , см ⁴	W_x , см ³	i_x , см	I_y , см ⁴	W_y , см ³	i_y , см	
100	60	5,5	15,61	193,4	38,68	3,52	86,01	28,67	2,35	12,25
		6,0	16,83	205,2	41,03	3,49	90,93	30,31	2,32	13,21
		6,5	17,66	207,0	41,39	3,42	92,18	30,73	2,28	13,86
		7,0	18,76	215,6	43,12	3,39	95,77	31,92	2,26	14,72
120	60	4,0	13,35	240,7	40,12	4,25	81,14	27,05	2,47	10,48
		4,5	14,87	264,5	44,08	4,22	88,72	29,57	2,44	11,67
		5,0	16,36	286,9	47,82	4,19	95,79	31,93	2,42	12,84
		5,5	17,81	308,0	51,34	4,16	102,3	34,12	2,40	13,98
		6,0	19,23	327,9	54,65	4,13	108,4	36,14	2,37	15,10
		6,5	20,26	333,3	55,56	4,06	110,8	36,93	2,34	15,90
		7,0	21,56	348,6	58,10	4,02	115,4	38,48	2,31	16,92
120	80	4,0	14,95	294,5	49,09	4,44	157,2	39,30	3,24	11,73
		4,5	16,67	324,5	54,08	4,41	172,8	43,20	3,22	13,08
		5,0	18,36	353,0	58,84	4,39	187,6	46,89	3,20	14,41
		5,5	20,01	380,1	63,36	4,36	201,5	50,38	3,17	15,71
		6,0	21,63	405,9	67,64	4,33	214,7	53,67	3,15	16,98
		6,5	22,86	417,1	69,51	4,27	221,3	55,31	3,11	17,94
		7,0	24,36	438,0	73,00	4,24	232,0	57,99	3,09	19,12
140	60	4,0	14,95	355,5	50,79	4,88	93,68	31,23	2,50	11,73
		4,5	16,67	391,6	55,94	4,85	102,6	34,19	2,48	13,08
		5,0	18,36	425,8	60,83	4,82	110,9	36,97	2,46	14,41
		5,5	20,01	458,3	65,47	4,79	118,7	39,56	2,44	15,71
		6,0	21,63	489,1	69,87	4,75	125,9	41,97	2,41	16,98
		6,5	22,86	500,2	71,46	4,68	129,4	43,13	2,38	17,94
		7,0	24,36	524,8	74,97	4,64	135,1	45,03	2,36	19,12
140	100	5,0	22,36	608,1	86,87	5,22	361,2	72,24	4,02	17,55
		5,5	24,41	657,3	93,90	5,19	389,8	77,97	4,00	19,16
		6,0	26,43	704,5	100,6	5,16	417,2	83,45	3,97	20,75
		6,5	28,06	731,9	104,6	5,11	434,3	86,85	3,93	22,03
		7,0	29,96	772,4	110,3	5,08	457,8	91,55	3,91	23,52
140	120	5,0	24,36	699,2	99,88	5,36	551,4	91,90	4,76	19,12
		5,5	26,61	756,8	108,1	5,33	596,5	99,41	4,73	20,89
		6,0	28,83	812,3	116,0	5,31	639,8	106,6	4,71	22,63
		6,5	30,66	847,8	121,11	5,26	668,3	111,4	4,67	24,07
		7,0	32,76	896,3	128,0	5,23	706,2	117,7	4,64	25,71

Продолжение табл. ПЗ.10

h	b	t	Площадь поперечного сечения A , см ²	Справочные значения величин для осей						Мас- са 1 м, кг
мм				x			y			
				I_x , см ⁴	W_x , см ³	i_x , см	I_y , см ⁴	W_y , см ³	i_y , см	
140	120	7,5	34,82	942,5	134,6	5,20	742,2	123,7	4,62	27,33
		8,0	36,84	986,5	140,9	5,17	776,5	129,4	4,59	28,92
150	100	5,0	23,36	719,0	95,87	5,55	383,7	76,75	4,05	18,33
		5,5	25,51	777,9	103,7	5,52	414,4	82,88	4,03	20,03
		6,0	27,63	834,4	111,3	5,50	443,7	88,75	4,01	21,69
		6,5	29,36	868,2	115,8	5,44	462,7	92,54	3,97	23,05
		7,0	31,36	917,1	122,3	5,41	488,0	97,61	3,95	24,62
160	100	5,0	24,36	841,7	105,2	5,88	406,3	81,26	4,08	19,12
		5,5	26,61	911,2	113,9	5,85	439,0	87,79	4,06	20,89
		6,0	28,83	978,1	122,3	5,82	470,2	94,05	4,04	22,63
		6,5	30,66	1019	127,4	5,77	491,1	98,22	4,00	24,07
		7,0	32,76	1077	134,7	5,73	518,3	103,7	3,98	25,71
		7,5	34,82	1133	141,6	5,70	544,1	108,8	3,95	27,33
		8,0	36,84	1186	148,2	5,67	568,6	113,7	3,93	28,92
160	120	5,0	26,36	961,8	120,2	6,04	617,5	102,9	4,84	20,69
		5,5	28,81	1042	130,3	6,02	668,6	111,4	4,82	22,62
		6,0	31,23	1120	140,0	5,99	717,8	119,6	4,79	24,52
		6,5	33,26	1172	146,5	5,94	752,0	125,3	4,76	26,11
		7,0	35,56	1241	155,2	5,91	795,5	132,6	4,73	27,91
		7,5	37,82	1307	163,4	5,88	837,2	139,5	4,70	29,69
		8,0	40,04	1371	171,3	5,85	876,9	146,1	4,68	31,43
160	140	5,0	28,36	1082	135,2	6,18	881,4	125,9	5,58	22,26
		5,5	31,01	1174	146,7	6,15	955,8	136,5	5,55	24,34
		6,0	33,63	1263	157,8	6,13	1028	146,8	5,53	26,40
		6,5	35,86	1325	165,7	6,08	1079	154,2	5,49	28,15
		7,0	38,36	1405	175,6	6,05	1144	163,4	5,46	30,11
		7,5	40,82	1482	185,2	6,02	1206	172,3	5,44	32,04
		8,0	43,24	1555	194,4	6,00	1265	180,8	5,41	33,95
180	100	5,0	26,36	1124	124,9	6,53	451,4	90,29	4,14	20,69
		5,5	28,81	1218	135,4	6,50	488, 1	97,61	4,12	22,62
		6,0	31,23	1309	145,5	6,47	523,3	104,7	4,09	24,52
		6,5	33,26	1368	152,0	6,41	547,9	109,6	4,06	26,11
		7,0	35,56	1448	160,9	6,38	578,8	115,8	4,03	27,91
		7,5	37,82	1525	169,4	6,35	608,3	121,7	4,01	29,69
		8,0	40,04	1598	177,6	6,32	636,3	127,3	3,99	31,43

Продолжение табл. ПЗ.10

h	b	t	Площадь поперечного сечения A , см ²	Справочные значения величин для осей						Мас- са 1 м, кг
мм				x			y			
				I_x , см ⁴	W_x , см ³	i_x , см	I_y , см ⁴	W_y , см ³	i_y , см	
180	140	5,0	30,36	1430	158,92	6,86	972,6	138,9	5,66	23,83
		5,5	33,21	1553	172,58	6,84	1055	150,7	5,64	26,07
		6,0	36,03	1673	185,85	6,81	1135	162,2	5,61	28,29
		6,5	38,46	1759	195,45	6,76	1195	170,8	5,57	30,19
		7,0	41,16	1867	207,43	6,73	1268	181,1	5,55	32,31
		7,5	43,82	1971	218,99	6,71	1338	191,1	5,52	34,40
		8,0	46,44	2071	230,15	6,68	1405	200,8	5,50	36,46
200	120	5,0	30,36	1649	164,9	7,37	749,8	125,0	4,97	23,83
		5,5	33,21	1791	179,1	7,34	812,8	135,5	4,95	26,07
		6,0	36,03	1929	192,9	7,32	873,7	145,6	4,92	28,29
		6,5	38,46	2026	202,6	7,26	919,5	153,2	4,89	30,19
		7,0	41,16	2150	215,0	7,23	974,3	162,4	4,87	32,31
		7,5	43,82	2270	227,0	7,20	1027	171,2	4,84	34,40
		8,0	46,44	2385	238,5	7,17	1078	179,6	4,82	36,46
200	160	5,0	34,36	2029	202,9	7,69	1442	180,3	6,48	26,97
		5,5	37,61	2207	220,7	7,66	1568	195,9	6,46	29,52
		6,0	40,83	2380	238,0	7,64	1690	211,2	6,43	32,05
		6,5	43,66	2513	251,3	7,59	1785	223,1	6,39	34,27
		7,0	46,76	2672	267,2	7,56	1897	237,1	6,37	36,70
		7,5	49,82	2826	282,6	7,53	2005	250,6	6,34	39,11
		8,0	52,84	2975	297,5	7,50	2110	263,7	6,32	41,48
		8,5	55,83	3120	312,0	7,48	2211	276,4	6,29	43,83
		9,0	58,78	3260	326,0	7,45	2309	288,7	6,27	46,14
		9,5	61,69	3395	339,5	7,42	2404	300,5	6,24	48,43
		10,0	64,57	3527	352,7	7,39	2496	312,0	6,22	50,68
220	100	5,0	30,36	1851	168,3	7,81	541,7	108,34	4,22	23,83
		5,5	33,21	2010	182,7	7,78	586,3	117,26	4,20	26,07
		6,0	36,03	2164	196,7	7,75	629,3	125,86	4,18	28,29
		6,5	38,46	2270	206,3	7,68	661,6	132,31	4,15	30,19
		7,0	41,16	2408	218,9	7,65	699,9	139,99	4,12	32,31
		7,5	43,82	2541	231,0	7,61	736,6	147,33	4,10	34,40
		8,0	46,44	2669	242,7	7,58	771,7	154,34	4,08	36,46
220	140	5,0	34,36	2313	210,3	8,21	1155	165,0	5,80	26,97
		5,5	37,61	2516	228,7	8,18	1254	179,2	5,77	29,52
		6,0	40,83	2714	246,7	8,15	1351	193,0	5,75	32,05

Продолжение табл. ПЗ.10

h	b	t	Площадь поперечного сечения A , см ²	Справочные значения величин для осей						Мас- са 1 м, кг
мм				x			y			
				I_x , см ⁴	W_x , см ³	i_x , см	I_y , см ⁴	W_y , см ³	i_y , см	
220	140	6,5	43,66	2862	260,2	8,10	1427	203,7	5,72	34,27
		7,0	46,76	3043	276,6	8,07	1515	216,5	5,69	36,70
		7,5	49,82	3218	292,6	8,04	1601	228,7	5,67	39,11
		8,0	52,84	3388	308,0	8,01	1683	240,5	5,64	41,48
240	120	5,0	34,36	2579	215,0	8,66	882,0	147,0	5,07	26,97
		5,5	37,61	2805	233,8	8,64	957,0	159,5	5,04	29,52
		6,0	40,83	3026	252,1	8,61	1030	171,6	5,02	32,05
		6,5	43,66	3188	265,6	8,54	1087	181,2	4,99	34,27
		7,0	46,76	3388	282,4	8,51	1153	192,2	4,97	36,70
		7,5	49,82	3583	298,6	8,48	1217	202,8	4,94	39,11
		8,0	52,84	3771	314,3	8,45	1278	213,1	4,92	41,48
240	160	6,0	45,63	3683	306,9	8,98	1974	246,8	6,58	35,82
		6,5	48,86	3896	324,7	8,93	2091	261,4	6,54	38,35
		7,0	52,36	4148	345,7	8,90	2224	278,1	6,52	41,10
		7,5	55,82	4394	366,2	8,87	2354	294,2	6,49	43,82
		8,0	59,24	4633	386,1	8,84	2480	309,9	6,47	46,51
		8,5	62,63	4865	405,4	8,81	2602	325,2	6,45	49,16
		9,0	65,98	5091	424,2	8,78	2720	340,0	6,42	51,79
		9,5	69,29	5311	442,5	8,75	2835	354,3	6,40	54,39
		10,0	72,57	5524	460,3	8,72	2946	368,2	6,37	56,96
		10,5	74,86	5590	465,8	8,64	2990	373,8	6,32	58,76
		11,0	77,97	5777	481,4	8,61	3088	386,1	6,29	61,20
		11,5	81,03	5957	496,4	8,57	3183	397,8	6,27	63,61
		12,0	84,06	6130	510,9	8,54	3273	409,2	6,24	65,99
250	150	6,0	45,63	3885	310,8	9,23	1768	235,7	6,22	35,82
		6,5	48,86	4109	328,7	9,17	1872	249,6	6,19	38,35
		7,0	52,36	4375	350,0	9,14	1991	265,4	6,17	41,10
		7,5	55,82	4633	370,7	9,11	2106	280,8	6,14	43,82
		8,0	59,24	4885	390,8	9,08	2217	295,7	6,12	46,51
260	130	6,0	44,43	3888	299,0	9,35	1326	204,0	5,46	34,88
		6,5	47,56	4106	315,8	9,29	1403	215,8	5,43	37,33
		7,0	50,96	4369	336,1	9,26	1490	229,2	5,41	40,00
		7,5	54,32	4625	355,8	9,23	1574	242,2	5,38	42,64
		8,0	57,64	4874	374,9	9,20	1656	254,8	5,36	45,25
		8,5	60,93	5116	393,5	9,16	1735	266,9	5,34	47,83

Продолжение табл. ПЗ.10

h	b	t	Площадь поперечного сечения A , см ²	Справочные значения величин для осей						Мас- са 1 м, кг
мм				x			y			
				I_x , см ⁴	W_x , см ³	i_x , см	I_y , см ⁴	W_y , см ³	i_y , см	
260	130	9,0	64,18	5350	411,6	9,13	1811	278,6	5,31	50,38
		9,5	67,39	5578	429,1	9,10	1885	290,0	5,29	52,90
		10,0	70,57	5799	446,0	9,06	1956	300,9	5,26	55,39
		10,5	72,76	5848	449,8	8,96	1982	305,0	5,22	57,12
		11,0	75,77	6038	464,5	8,93	2044	314,5	5,19	59,48
		11,5	78,73	6221	478,6	8,89	2103	323,6	5,17	61,81
		12,0	81,66	6397	492,1	8,85	2160	332,3	5,14	64,10
300	200	6,0	57,63	7370	491,3	11,31	3961	396,1	8,29	45,24
		6,5	61,86	7838	522,5	11,26	4217	421,7	8,26	48,56
		7,0	66,36	8365	557,7	11,23	4497	449,7	8,23	52,09
		7,5	70,82	8882	592,1	11,20	4771	477,1	8,21	55,59
		8,0	75,24	9388	625,9	11,17	5039	503,9	8,18	59,07
		8,5	79,63	9884	658,9	11,14	5302	530,2	8,16	62,51
		9,0	83,98	10370	691,3	11,11	5558	555,8	8,14	65,92
		9,5	88,29	10845	723,0	11,08	5809	580,9	8,11	69,31
		10,0	92,57	11310	754,0	11,05	6054	605,4	8,09	72,66
		10,5	95,86	11547	769,8	10,98	6195	619,5	8,04	75,25
		11,0	99,97	11970	798,0	10,94	6418	641,8	8,01	78,47
		11,5	104,0	12383	825,5	10,91	6636	663,6	7,99	81,67
		12,0	108,1	12784	852,3	10,88	6847	684,7	7,96	84,83
320	180	6,0	57,63	8012	500,8	11,79	3308	367,5	7,58	45,24
		6,5	61,86	8517	532,3	11,73	3520	391,1	7,54	48,56
		7,0	66,36	9089	568,1	11,70	3752	416,9	7,52	52,09
		7,5	70,82	9650	603,1	11,67	3979	442,2	7,50	55,59
		8,0	75,24	10200	637,5	11,64	4201	466,8	7,47	59,07
		8,5	79,63	10738	671,1	11,61	4418	490,9	7,45	62,51
		9,0	83,98	11265	704,0	11,58	4630	514,4	7,42	65,92
		9,5	88,29	11780	736,3	11,55	4836	537,4	7,40	69,31
		10,0	92,57	12285	767,8	11,52	5038	559,7	7,38	72,66
		10,5	95,86	12530	783,1	11,43	5155	572,7	7,33	75,25
		11,0	99,97	12988	811,7	11,40	5338	593,1	7,31	78,47
		11,5	104,0	13434	839,6	11,36	5517	613,0	7,28	81,67
		12,0	108,1	13867	866,7	11,33	5690	632,2	7,26	84,83
350	250	6,0	69,63	12456	711,8	13,37	7457	596,6	10,35	54,66
		6,5	74,86	13293	759,6	13,33	7963	637,0	10,31	58,76

Окончание табл. ПЗ.10

h	b	t	Площадь поперечного сечения A , см ²	Справочные значения величин для осей						Мас- са 1 м, кг
мм				x			y			
				I_x , см ⁴	W_x , см ³	i_x , см	I_y , см ⁴	W_y , см ³	i_y , см	
350	250	7,0	80,36	14210	812,0	13,30	8508	680,6	10,29	63,08
		7,5	85,82	15112	863,5	13,27	9044	723,5	10,27	67,37
		8,0	91,24	15999	914,3	13,24	9570	765,6	10,24	71,63
		8,5	96,63	16872	964,1	13,21	10087	807,0	10,22	75,85
		9,0	102,0	17731	1013	13,19	10595	847,6	10,19	80,05
		9,5	107,3	18575	1061	13,16	11094	887,5	10,17	84,22
		10,0	112,6	19404	1109	13,13	11583	926,7	10,14	88,36
		10,5	116,9	19923	1138	13,06	11912	952,9	10,10	91,73
		11,0	122,0	20694	1183	13,03	12368	989,5	10,07	95,74
		11,5	127,0	21451	1226	12,99	12815	1025	10,04	99,72
		12,0	132,1	22191	1268	12,96	13253	1060	10,02	103,7
350	300	6,0	75,63	14232	813,2	13,72	11259	750,6	12,20	59,37
		6,5	81,36	15210	869,2	13,67	12037	802,5	12,16	63,87
		7,0	87,36	16269	929,6	13,65	12872	858,1	12,14	68,58
		7,5	93,32	17312	989,2	13,62	13694	912,9	12,11	73,26
		8,0	99,24	18339	1048	13,59	14504	966,9	12,09	77,91
		8,5	105,1	19351	1106	13,57	15301	1020	12,06	82,53
		9,0	111,0	20347	1163	13,54	16086	1072	12,04	87,12
		9,5	116,8	21328	1219	13,51	16858	1124	12,01	91,68
		10,0	122,6	22294	1274	13,49	17618	1175	11,99	96,21
		10,5	127,4	22948	1311	13,42	18147	1210	11,94	99,98
		11,0	133,0	23855	1363	13,39	18861	1257	11,91	104,4
		11,5	138,5	24745	1414	13,36	19561	1304	11,88	108,7
12,0	144,1	25619	1464	13,34	20249	1350	11,86	113,1		
380	220	6,0	69,63	13885	730,8	14,12	6011	546,4	9,29	54,66
		6,5	74,86	14810	779,5	14,07	6418	583,4	9,26	58,76
		7,0	80,36	15831	833,2	14,04	6854	623,1	9,24	63,08
		7,5	85,82	16836	886,1	14,01	7282	662,0	9,21	67,37
		8,0	91,24	17824	938,1	13,98	7703	700,3	9,19	71,63
		10,0	112,6	23000	1150	14,29	7859	785,9	8,36	88,36
		10,5	116,9	23577	1179	14,20	8080	808,0	8,32	91,73
400	200	11,0	122,0	24485	1224	14,17	8383	838,3	8,29	95,74
		11,5	127,0	25374	1269	14,13	8679	867,9	8,27	99,72
		12,0	132,1	26245	1312	14,10	8968	896,8	8,24	103,7

Таблица ПЗ.11

Сокращенный сортамент и основные параметры стальных канатов двойной свивки типа ЛК-О конструкции 6х7(1+6)+1х7(1+6) по ГОСТ 3066–80

Диаметр каната, мм	Расчетная площадь сечения всех проволок, мм ²	Ориентировочная масса 1000 м смазанного каната, кг	Маркировочная группа, Н/мм ² (кгс/мм ²)					
			1370 (140)		1570 (150)		1770 (180)	
			Разрывное усилие, Н, не менее					
			суммарное всех проволок в канате	каната в целом	суммарное всех проволок в канате	каната в целом	суммарное всех проволок в канате	каната в целом
3,5	5,64	51,2	—	—	8840	7505	9945	8445
3,8	6,39	58,0	—	—	10000	8495	11250	9570
4,2	8,05	72,0	—	—	12600	10650	14200	12000
4,6	9,91	90,0	—	—	15500	13150	17450	14400
5,6	14,20	129,0	—	—	22250	18850	25000	20650
6,4	19,25	175,0	22400	22400	30150	25600	33950	28050
7,4	25,08	228,0	34400	29200	39300	33350	44200	36550
8,2	31,68	288,0	43450	36850	49650	42150	55850	46200
9,2	39,64	360,0	54350	46150	62150	52750	69900	58000
10,0	47,83	435,0	65600	55750	74950	63700	83350	69950
11,0	56,79	516,0	77900	66150	89000	75650	100000	82700
12,0	66,52	604,0	91250	77500	104000	88250	117000	96850
13,0	77,02	699,5	105500	89500	120500	102000	135500	112000
14,0	88,30	802,0	121000	102000	138000	117000	155500	128000
15,0	100,33	911,0	137500	116500	157000	133000	176500	146000
15,5	113,14	1030,0	155000	131000	177000	150000	199500	164500
16,5	126,72	1150,0	173500	147000	198500	168500	223500	184500
18,5	158,55	1441,0	217500	184000	248500	210500	279500	231500
20,0	191,32	1739,0	262000	222000	299500	254500	337000	279500
22,0	227,17	2065,0	311500	264500	356000	302000	400500	332000
24,0	266,09	2420,0	365000	310000	417000	354000	469000	387500
26,0	308,10	2800,0	422500	358500	483000	410000	543000	449000
27,5	353,18	3210,0	484500	411000	553500	470000	623000	514500

Учебное издание

**Беляева Зоя Владимировна,
Кудрявцев Сергей Владимирович**

**РАСЧЕТ И ПРОЕКТИРОВАНИЕ
ЭЛЕМЕНТОВ
МЕТАЛЛИЧЕСКИХ КОНСТРУКЦИЙ**

**Редактор И. В. Коршунова
Верстка О. П. Игнатьевой**

Подписано в печать 11.11.2019. Формат 70×100/16.
Бумага офсетная. Цифровая печать. Усл. печ. л. 11,0.
Уч.-изд. л. 7,51. Тираж 40 экз. Заказ 330.

Издательство Уральского университета
Редакционно-издательский отдел ИПЦ УрФУ
620049, Екатеринбург, ул. С. Ковалевской, 5
Тел.: +7 (343) 375-48-25, 375-46-85, 374-19-41
E-mail: rio@urfu.ru

Отпечатано в Издательско-полиграфическом центре УрФУ
620083, Екатеринбург, ул. Тургенева, 4
Тел.: +7 (343) 358-93-06, 350-58-20, 350-90-13
Факс: +7 (343) 358-93-06
<http://print.urfu.ru>



БЕЛЯЕВА ЗОЯ ВЛАДИМИРОВНА

Кандидат технических наук, завкафедрой «Строительные конструкции и механика грунтов» Института строительства и архитектуры УрФУ.

В 2004 г. окончила строительный факультет Уральского государственного технического университета — УПИ (ныне Институт строительства и архитектуры УрФУ) по специальности «Промышленное и гражданское строительство». Сфера научных интересов: обследование и усиление строительных конструкций, легкие стальные тонкостенные конструкции, геометрическое моделирование пространственных конструкций.



КУДРЯВЦЕВ СЕРГЕЙ ВЛАДИМИРОВИЧ

Кандидат технических наук, доцент кафедры «Строительные конструкции и механика грунтов» Института строительства и архитектуры УрФУ.

Окончил строительный факультет Уральского государственного технического университета — УПИ (ныне Институт строительства и архитектуры УрФУ) по специальности «Промышленное и гражданское строительство» в 2005 г. Сфера научных интересов: обследование строительных конструкций, высокопрочные композитные материалы в строительстве, легкие металлические конструкции.